



**TUGAS AKHIR - TF141581**

**PENGARUH pH DALAM SINTESIS  $\text{TiO}_2$  ANATASE  
DENGAN METODE *CHEMICAL BATH DEPOSITION*  
TERHADAP KARAKTERISTIK SENSOR GAS  
*VOLATILE ORGANIC COMPOUND* (METHANOL)**

**SHITA AGUSTIN KUSUMANINGTYAS**  
NRP. 2414 105 035

Dosen Pembimbing  
Dr.-Ing. Doty Dewi Risanti, S.T., M.T.  
Lizda Johar Mawarani, S.T., M.T.

JURUSAN TEKNIK FISIKA  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2016



FINAL PROJECT - TF141581

**THE EFFECT OF pH ON  $\text{TiO}_2$  ANATASE  
SYNTHESIS USING *CHEMICAL BATH  
DEPOSITION* FOR VOLATILE ORGANIC  
COMPOUND (METHANOL) GAS SENSOR**

**SHITA AGUSTIN KUSUMANINGTYAS**  
NRP. 2414 105 035

Supervisors

Dr.-Ing. Doty Dewi Risanti, S.T., M.T.  
Lizda Johar Mawarani, S.T., M.T.

DEPARTMENT OF ENGINEERING PHYSICS  
Faculty of Industrial Technology  
Sepuluh Nopember Institute of Technology  
Surabaya 2016

**PENGARUH pH DALAM SINTESIS  $\text{TiO}_2$  ANATASE  
DENGAN METODE *CHEMICAL BATH DEPOSITION*  
TERHADAP KARAKTERISTIK SENSOR GAS *VOLATILE*  
*ORGANIC COMPOUND* (METHANOL)**

**TUGAS AKHIR**

**Oleh :**

**Shita Agustin Kusumaningtyas**

**NRP : 2414 105 035**

**Surabaya, Agustus 2016**

**Mengetahui/Menyetujui**

**Pembimbing I,**



**Dr.-Ing. Doty Dewi R., S.T., M.T.**

**NIPN. 19740903 199802 2 001**

**Pembimbing II,**



**Lizda Johar M., S.T., M.T.**

**NIPN 19740815 199703 2 001**



**Ketua Jurusan  
Teknik Fisika FTI-ITS**

**Agus Muhammad Hatta, S.T., M.Si., Ph.D**

**NIPN. 19780902 200312 1 002**

**PENGARUH pH DALAM SINTESIS  $\text{TiO}_2$  ANATASE  
DENGAN METODE *CHEMICAL BATH DEPOSITION*  
TERHADAP KARAKTERISTIK SENSOR GAS *VOLATILE*  
*ORGANIC COMPOUND* (METHANOL)**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada  
Bidang Studi Rekayasa Bahan  
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Fisika  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

**SHITA AGUSTIN KUSUMANINGTYAS**  
NRP. 2414 105 035

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Dr.-Ing. Doty Dewi R, S.T., M.T. ....(Pembimbing I)
2. Lizda Johar M, S.T., M.T. ....(Pembimbing II)
3. Ir. Zulkifli, M.Sc. ....(Ketua Penguji)
4. Bagus Tris Atmaja, S.T., M.T. ....(Penguji I)

**SURABAYA**  
**AGUSTUS 2016**

**PENGARUH pH DALAM SINTESIS TiO<sub>2</sub> ANATASE  
DENGAN METODE *CHEMICAL BATH DEPOSITION*  
TERHADAP KARAKTERISTIK SENSOR GAS *VOLATILE  
ORGANIC COMPOUND* (METHANOL)**

**Nama** : Shita Agustin Kusumaningtyas  
**NRP** : 2414105035  
**Jurusan** : Teknik Fisika, FTI-ITS  
**Pembimbing** : Dr-Ing. Doty Dewi Risanti, ST., MT  
Lizda Johar Mawarani, ST., MT

**Abstrak**

Telah dilakukan sintesis lapisan tipis TiO<sub>2</sub> anatase dari prekursor TiCl<sub>3</sub> pada substrat FTO dan Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> menggunakan metode *chemical bath deposition* dengan variasi pH 3,5, pH 5,5, pH 7, pH 8,5 dan pH 9,5. Lapisan tipis TiO<sub>2</sub> yang terbentuk diuji dengan XRD, AFM dan BET. Dari hasil pengujian didapatkan bahwa semakin tinggi pH, fase yang terbentuk cenderung anatase dan didapatkan pula bahwa penambahan pH berpengaruh terhadap kontur TiO<sub>2</sub>. Penggunaan substrat sebagai media penumbuhan TiO<sub>2</sub> mempengaruhi fase serta ukuran kristal TiO<sub>2</sub>. Pada substrat FTO dengan pH 9,5 didapatkan fase anatase dengan ukuran kristal 16,25 nm sedangkan pada serbuk TiO<sub>2</sub> memiliki ukuran kristal 60,85 nm. Sintesis TiO<sub>2</sub> dengan pH 3,5 memiliki luas permukaan paling besar yaitu 88,8 m<sup>2</sup>/g. Hasil uji sensor gas menunjukkan bahwa TiO<sub>2</sub> pada substrat FTO tidak cocok jika diaplikasikan sebagai sensor gas karena FTO memiliki sifat konduktif.

**Kata Kunci:** *chemical bath deposition*, sensor gas, pH, TiO<sub>2</sub> anatase, *volatile organic compound*.

**THE EFFECT OF pH ON TiO<sub>2</sub> ANATASE SYNTHESIS  
USING CHEMICAL BATH DEPOSITION FOR VOLATILE  
ORGANIC COMPOUND (METHANOL) GAS SENSOR**

**Name** : Shita Agustin Kusumaningtyas  
**NRP** : 2414105035  
**Departement** : Teknik Fisika, FTI-ITS  
**Supervisors** : Dr-Ing. Doty Dewi Risanti, ST., MT  
Lizda Johar Mawarani, ST., MT

***Abstract***

*Synthesis of thin layer TiO<sub>2</sub> anatase from TiCl<sub>3</sub> precursor has been successfully grown on FTO and Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> substrates by using chemical bath deposition. The pH of synthesis was varied i.e 3.5, 5.5, 7, 8.5, and 9.5. Several characterization methods were applied to check whether the film has been formed by means of XRD, AFM and BET. The result indicate that the higher the pH used, the more fraction of anatase was observed and influence of pH addition had an effect on TiO<sub>2</sub> peak. Our result also revequal that the use of FTO led to difference in the phase formation and crystallite size of TiO<sub>2</sub>, i.e.16.25 nm using FTO and 60,85 nm for powder. Synthesis TiO<sub>2</sub> from pH 3.5 has a greatest surface area with value of 88.8 m<sup>2</sup>/g. Gas sensor test result indicate that TiO<sub>2</sub> substrate on the FTO is not suitable when applied as gas sensors because of its conductive propperties.*

**Keywords:** *chemical bath deposition, gas sensor, pH, TiO<sub>2</sub> anatase, volatile organic compound.*

## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>HALAMAN JUDUL</b>	<b>i</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b>	<b>iii</b>
<b>ABSTRAK</b>	<b>v</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>vi</b>
<b>KATA PENGANTAR</b>	<b>vii</b>
<b>DAFTAR ISI</b>	<b>ix</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b>	<b>xi</b>
<b>DAFTAR TABEL</b>	<b>xii</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Permasalahan	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian	3
<b>BAB II DASAR TEORI</b>	
2.1 Titanium Dioksida (TiO <sub>2</sub> )	5
2.2 Metode <i>Chemical Bath Deposition</i>	9
2.3 Sensor Gas Karbon Monoksida	11
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN</b>	
3.1 Diagram Alir Penelitian	15
3.2 Persiapan Alat dan Bahan	16
3.3 Sintesis TiO <sub>2</sub> Anatase dengan <i>Chemical Bath Deposition</i>	17
3.4 Karakterisasi TiO <sub>2</sub>	18
<b>BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN</b>	
4.1 Hasil dan Analisa Pengujian XRD	25
4.2 Hasil dan Analisa Pengujian AFM	33
4.3 Hasil dan Analisa Pengujian BET	37
4.4 Hasil dan Analisa Pengujian Sensor Gas	40
<b>BAB V PENUTUP</b>	
5.1 Kesimpulan	47
5.2 Saran	47

**DAFTAR PUSTAKA**

**49**

**LAMPIRAN A**

**LAMPIRAN B**

**LAMPIRAN C**

**LAMPIRAN D**

**LAMPIRAN E**



## DAFTAR TABEL

	Hal
<b>Tabel 2.1</b>	Sifat Fase Rutile, Anatase, dan Brookite
<b>Tabel 2.2</b>	Sifat Fisika dan Kimia $\text{TiCl}_3$
<b>Tabel 4.1</b>	Ukuran Kristal $\text{TiO}_2$ pada Substrat FTO
<b>Tabel 4.2</b>	Hasil Perhitungan Ukuran Kristal dan Fraksi Fase
<b>Tabel 4.3</b>	Data Hasil Uji BET
<b>Tabel 4.4</b>	Hasil Resistansi Substrat Alumina

## DAFTAR GAMBAR

	Hal
<b>Gambar 2.1</b>	Struktur kristal rutile, anatase dan brookite 5
<b>Gambar 2.2</b>	Transformasi fase $\text{TiO}_2$ 6
<b>Gambar 2.3</b>	<i>Band alligment</i> anatase dan rutile 7
<b>Gambar 2.4</b>	Metode <i>chemical bath deposition</i> 10
<b>Gambar 2.5</b>	Prinsip kerja material sensor gas 12
<b>Gambar 2.6</b>	Struktur <i>conductometric sensors</i> . 12
<b>Gambar 3.1</b>	Diagram alir penelitian tugas akhir 16
<b>Gambar 3.2</b>	Substrat dicelupkan dalam Larutan $\text{TiO}_2$ 17
<b>Gambar 3.3</b>	XRD Philips Xpert MPD 18
<b>Gambar 3.4</b>	Prinsip kerja XRD 19
<b>Gambar 3.5</b>	Ilustrasi perhitungan FWHM 20
<b>Gambar 3.6</b>	NOVA 1200e 21
<b>Gambar 3.7</b>	Prinsip kerja AFM 22
<b>Gambar 3.8</b>	Alat uji AFM Brüker N8 Neos 23
<b>Gambar 3.9</b>	Skema uji sensor gas 24
<b>Gambar 4.1</b>	Hasil XRD substrat FTO 25
<b>Gambar 4.2</b>	Hasil XRD lapisan tipis $\text{TiO}_2$ pada FTO yang direndam 26
<b>Gambar 4.3</b>	Hasil XRD lapisan tipis $\text{TiO}_2$ pada FTO yang direndam dan diaduk 27
<b>Gambar 4.4</b>	Hasil XRD lapisan tipis $\text{TiO}_2$ pada ubstrat FTO 28
<b>Gambar 4.5</b>	Hasil uji XRD serbuk $\text{TiO}_2$ 29
<b>Gambar 4.6</b>	Pengaruh pH terhadap ukuran kristal serbuk $\text{TiO}_2$ 31
<b>Gambar 4.7</b>	Pengaruh pH terhadap fraksi fase 32
<b>Gambar 4.8</b>	Hasil XRD substrat alumina dan $\text{TiO}_2$ pada alumina 33
<b>Gambar 4.9</b>	Topografi lapisan tipis $\text{TiO}_2$ pH 3,5 (a) tampak atas (b) tampak samping 34
<b>Gambar 4.10</b>	Topografi lapisan tipis $\text{TiO}_2$ pH 7 (a) tampak atas (b) tampak samping 35

<b>Gambar 4.11</b>	Topografi lapisan tipis $\text{TiO}_2$ pH 9,5 (a) tampak atas (b) tampak samping	36
<b>Gambar 4.12</b>	Rentang puncak tertinggi lapisan tipis $\text{TiO}_2$ pada substrat FTO	37
<b>Gambar 4.13</b>	Kurva adsorpsi-desorpsi serbuk $\text{TiO}_2$ dengan pH 3,5	38
<b>Gambar 4.14</b>	Kurva adsorpsi-desorpsi serbuk $\text{TiO}_2$ dengan pH 8,5	38
<b>Gambar 4.15</b>	Kurva adsorpsi-desorpsi serbuk $\text{TiO}_2$ dengan pH 9,5	39
<b>Gambar 4.16</b>	Respon dinamik lapisan tipis $\text{TiO}_2$ dengan pH 5,5 pada suhu ruang	40
<b>Gambar 4.17</b>	Respon dinamik lapisan tipis $\text{TiO}_2$ dengan pH 5,5 pada suhu $100^\circ\text{C}$	41
<b>Gambar 4.18</b>	Respon dinamik lapisan tipis $\text{TiO}_2$ dengan pH 9,5 pada suhu ruang	41
<b>Gambar 4.19</b>	Respon dinamik lapisan tipis $\text{TiO}_2$ dengan pH 9,5 pada suhu $100^\circ\text{C}$	42
<b>Gambar 4.20</b>	Respon $\text{SnO}_2$ sebagai material pembentuk sensor gas $\text{SO}_2$	44

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

VOC atau *Volatile Organic Compound* merupakan senyawa organik yang mudah menguap dan menyebabkan polusi udara. Sumber dari VOC seperti gas buang kendaraan bermotor, penguapan bahan bakar minyak untuk *outdoor*. Sumber *indoor* misal cat, coating, lem, *plywood* yang digunakan menjadi produk akhir seperti *furniture*, properti, aksesoris, elektronik, pada rumah, kantor, mall dan bangunan lain. Manusia lebih banyak menghabiskan aktivitas sehari-hari dalam ruangan padahal konsentrasi VOC pada *indoor* 2 hingga 5 kali lebih besar dibanding *outdoor* (Brian, 2015). VOC terdiri dari bermacam gas diantaranya *benzene*, *acetone*, *methylene chloride*, *toluene*, *ethanol*, *formaldehyde*, *isopropyl alcohol*, *xylene*, *methanol*. VOC merupakan senyawa organik yang berbahaya terhadap manusia jika terkena paparan melewati ambang batas. VOC dapat menyebabkan iritasi pada mata, hidung dan tenggorokan, sakit kepala, kehilangan koordinasi, mual, kerusakan hati, ginjal dan sistem saraf pusat (Mulyadi, 2013).

Berbagai macam jenis gas sensor telah dikembangkan, diantaranya gas sensor berbasis *metal oxide*, *capacitance*, *acoustic wave*, *calorimetric*, *optical* dan *electrochemical* (Bharathi, 2014). Pada sensor VOC, sensor bekerja memakai prinsip *chemiresistor*, yaitu menggunakan perubahan resistansi (karena efek adsorpsi, reaksi kimia, difusi) pada permukaan sensor. Ukuran butir dan *active surface area* merupakan parameter yang mempengaruhi karakteristik dari sensor gas (Korotcenkov, 2013).

*Tin dioxide* ( $\text{SnO}_2$ ) dan *titanium dioxide* ( $\text{TiO}_2$ ) merupakan elemen yang telah diteliti dengan berbagai macam metode untuk dijadikan sebagai material pembentuk lapisan tipis pada sensor gas berbasis *metal oxide* (Perillo dkk, 2012).  $\text{TiO}_2$  merupakan bahan metal oksida pembentuk lapisan tipis yang mempunyai sensitivitas tinggi. Selain itu  $\text{TiO}_2$  cenderung stabil ketika

beroperasi pada temperatur tinggi dan didoping dengan material lain.  $\text{TiO}_2$  mempunyai tiga fasa, yaitu anatase, rutil dan brookite. Fasa anatase lebih baik dari pada fasa rutil pada aplikasi sensor gas karena pada fasa anatase mempunyai *photocatalytic* tinggi. Selain itu pada fasa kristal anatase mempunyai luas permukaan yang lebih besar dari pada rutil (Bharathi, 2014). Prekursor yang telah digunakan sebagai pembentuk  $\text{TiO}_2$  yang diaplikasikan sebagai sensor gas yaitu Titanium tetra-isopropoxide sebagai sensor gas  $\text{H}_2$  (Radecka, 2010),  $\text{TiCl}_4$  sebagai sensor gas  $\text{H}_2\text{S}$  dan  $\text{CO}_2$  (Patil dan Jain, 2012), dan Titanium tetra-isopropoxide sebagai sensor gas  $\text{CO}$  (Kim, 2013).

Penumbuhan lapisan tipis untuk  $\text{TiO}_2$  telah berhasil dilakukan dengan berbagai macam metode penumbuhan, seperti *electron-beam evaporation* (Lu, 2011), *sputtering* (Tiwary, 2014), dan *sol-gel methods* (Pérez-González, 2015). Metode penumbuhan lapisan tipis yang lain adalah dengan menggunakan metode *chemical bath deposition* (Zhou, 2008). Lapisan tipis yang telah berhasil dibuat dengan metode ini adalah lapisan tipis dari  $\text{ZnO}$  (Wang, 2012),  $\text{IrO}_2$  (Chen, 2014),  $\text{CdS}$  (Robin, 2013),  $\text{PbS}$  (Tohidi, 2014),  $\text{ZnS}$  (Luque, 2015), dan  $\text{TiO}_2$  (Mayabadi, 2014). Metode *chemical bath deposition* (CBD) merupakan metode penumbuhan lapisan tipis dengan biaya rendah, dapat ditumbuhkan pada substrat yang luas (Choi dalam Manurung, 2013) selain itu CBD dapat menghasilkan ukuran kristal yang kecil (Ariyanto, 2009). Lapisan tipis yang terbentuk dengan metode *Chemical bath deposition* bergantung dengan, deposisi, pH, *bath temperature* dan konsentrasi larutan (Lokhande, 2004).

Telah dilakukan penelitian dengan membuat lapisan tipis  $\text{TiO}_2$  menggunakan titanium (III) chloride ( $\text{TiCl}_3$ ) sebagai prekursor dan urea ( $\text{NH}_2\text{CONH}_2$ ) untuk memvariasikan pH, variasi pH pada  $\text{TiO}_2$  rutil dengan metode *Chemical Deposition*. Variasi pH yang digunakan (0,5; 0,7; dan 0,9)  $\pm 0,05$  penelitian tersebut membuktikan bahwa pH mempengaruhi struktur morfologi, dan sifat optik  $\text{TiO}_2$ . Pada pH 0,5 terbentuk struktur nanorods kecil, sedangkan pH > 0,7 didapatkan nanorod panjang (Selman, 2014).

Fasa lain pada  $\text{TiO}_2$  adalah anatase, untuk mendapatkan fasa anatase Molea dkk menggunakan variasi pH 3, pH 8,5 dan pH 10,5.  $\text{TiO}_2$  dibuat dengan menggunakan Titanium (III) chloride ( $\text{TiCl}_3$ ) dan ammonia ( $\text{NH}_4\text{OH}$ ). Uji XRD menunjukkan bahwa pH 3 didapatkan fasa anatase-rutile dengan ukuran kristal 10 nm anatase dan 10,6 nm rutile. Saat pH 8,5 fasa yang terbentuk anatase dengan ukuran kristal 16 nm, sedangkan pH 8,5 mempunyai fasa anatase 13 nm (Molea dkk, 2014).

Dalam beberapa penelitian yang telah dilakukan menunjukkan bahwa pH mempengaruhi morfologi dan fasa yang dihasilkan dalam sintesis  $\text{TiO}_2$ . Semakin tinggi pH yang diberikan maka akan didapatkan fasa anatase. Oleh karena itu, pada penelitian ini akan disintesis lapisan  $\text{TiO}_2$  anatase dengan metode *chemical bath deposition* menggunakan prekursor  $\text{TiCl}_3$  untuk beberapa variasi pH yang diaplikasikan sebagai sensor gas VOC.

## 1.2 Rumusan Permasalahan

Berdasarkan latar belakang yang telah disampaikan, permasalahan yang akan dibahas pada penelitian tugas akhir ini antara lain:

- Bagaimana pengaruh variasi pH terhadap morfologi lapisan tipis  $\text{TiO}_2$  yang terbentuk dengan metode *chemical bath deposition* (CBD)?
- Bagaimana pengaruh pH terhadap karakteristik  $\text{TiO}_2$  anatase yang sesuai untuk digunakan sebagai sensor gas?

## 1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- Penelitian menggunakan dua substrat untuk menumbuhkan titanium dioksida, yaitu FTO (*fluor doped tin oxide*) dan  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (alumina)
- Metode penumbuhan lapisan tipis menggunakan *chemical bath deposition* (CBD).

## 1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

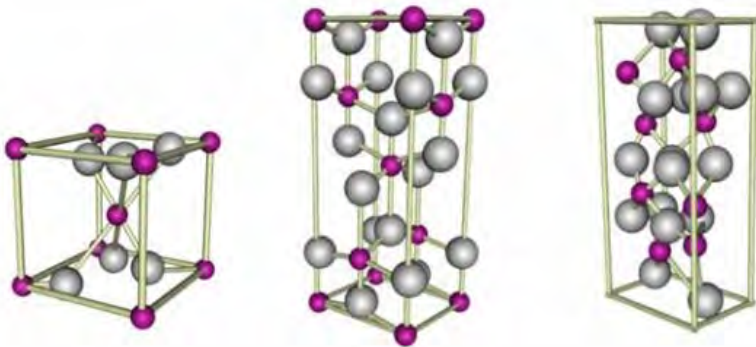
- Mengetahui pengaruh variasi pH terhadap morfologi lapisan tipis  $\text{TiO}_2$  yang terbentuk dengan metode *chemical bath deposition* (CBD).
- Mengetahui pengaruh pH terhadap karakteristik  $\text{TiO}_2$  anatase yang sesuai untuk digunakan sebagai sensor gas.

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Titanium Dioksida ( $\text{TiO}_2$ )

Titanium dioksida merupakan bahan semikonduktor yang dapat diaplikasikan untuk superkapasitor, *dye-sensitized solar cell*, *quantum-dot sensitized solar cell*, baterai *lithium-ion*, biosensor, *photoelectrolysis*, *self-cleaning* dan *extremely thin absorber* (ETA) *solar cell* (Mayabadi, 2014).



**Gambar 2.1** Struktur kristal rutile, anatase dan brookite (Khataee, 2012)

Gambar 2.1 menunjukkan struktur kristal fase rutile, anatase dan brookite dari  $\text{TiO}_2$ . Atom titanium ditunjukkan dengan warna ungu, sedangkan warna abu-abu merupakan atom oksigen. Pada struktur Titanium dioksida, satu atom titanium dikelilingi oleh enam atom oksigen. Transformasi  $\text{TiO}_2$  dapat mengikuti skema di bawah ini:



**Gambar 2.2** Transformasi fase  $\text{TiO}_2$

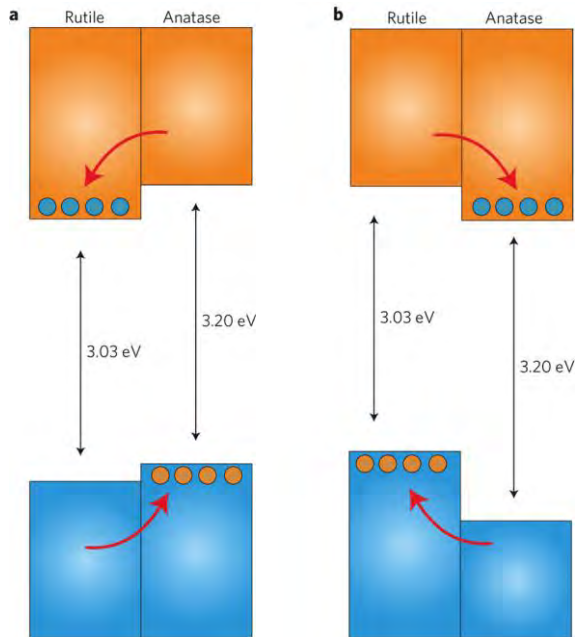


Berdasar gambar 2.2 terdapat dua fase awal, yaitu anatase dan brookite. Dari fase awal anatase terdapat dua reaksi lanjutan yaitu anatase langsung menjadi rutile dan dari fase awal anatase berubah menjadi brookite kemudian menjadi rutile. Begitupula dari fase awal brookite terdapat dua reaksi lanjutan, yaitu brookite langsung menjadi rutile dan dari fase awal brookite berubah menjadi anatase kemudian menjadi rutile Tabel 2.1 berikut merupakan parameter kisi dari ketiga fase titanium dioksida.

**Tabel 2.1** Sifat Fase Rutile, Anatase dan Brookite  
(Khataee, 2012)

Struktur kristal	Densitas (kg/m <sup>3</sup> )	Sistem	Parameter kisi (nm)		
			A	b	c
Rutile	4240	Tetragonal	0,4584	-	0,2953
Anatase	3830	Tetragonal	0,3758	-	0,9514
Brookite	4170	Rhombohedral	0,9166	0,5436	0,5135

Tabel 2.1 merupakan tabel sifat dari masing-masing fasa Titanium dioksida. Titanium (IV) oksida mempunyai berat molekul 79,87 g/mol. Titanium dioksida mempunyai tiga fase, yaitu anatase, rutile dan brookite. Fase anatase dan brookite bersifat metastabil, fase tersebut dapat berubah menjadi rutile ketika mendapat perlakuan suhu lebih tinggi. Anatase lebih fotoaktif dibanding dengan rutile, hal ini dikarenakan anatase memiliki luas permukaan yang lebih besar dari pada rutile sehingga sisi aktif anatase lebih besar (Bharathi, 2014). Sifat fotoaktif titanium dioksida tidak hanya bergantung pada struktur pita energi, tetapi juga pada luas permukaan. Sifat fotoaktif dapat diketahui dengan perbandingan luas permukaan per massa. Titanium dioksida anatase yang mempunyai ketebalan dan luas permukaan yang berbeda maka sifat fotoaktifnya juga berbeda (Khataee, 2012).



**Gambar 2.3** Struktur pita energi anatase dan rutile  
(Scanlon dkk., 2013)

Gambar 2.3 menunjukkan fase rutile memiliki energi celah 3,03 eV anatase memiliki energi celah 3,2 eV. Anatase memiliki tegangan pita datar 0,2 eV lebih negative dibandingkan rutile, ini menunjukkan bahwa pita konduksi anatase 0,2 eV lebih kecil dibandingkan rutile. Aliran elektron pada pita konduksi ditunjukkan oleh panah berwarna merah, sedangkan lingkaran biru dan oranye menunjukkan gambar elektron dan hole (Scanlon, dkk., 2013).

Titanium dioksida disintesis menggunakan prekursor. Prekursor yaitu bahan kimia yang digunakan sebagai bahan baku dari bahan lain. TiO<sub>2</sub> serbuk yang diaplikasikan sebagai sensor disintesis dengan menggunakan prekursor Titanium tetra-isopropoxide TTIP (Radecka, 2010), TiO<sub>2</sub> *thick film* sebagai material pembentuk sensor gas disintesis dengan TiCl<sub>4</sub> (Patil dan

Jain, 2012), titanium (IV) isopropoxide sebagai prekursor  $\text{TiO}_2$  thin film pembentuk sensor gas monoksida (Kim, 2013). Jenis prekursor yang digunakan akan mempengaruhi  $\text{TiO}_2$  yang dihasilkan, misalnya topologi, ukuran kristal, luas spesifik permukaan, porositas sehingga akan berpengaruh terhadap karakteristik sensor gas.  $\text{TiCl}_3$  merupakan salah satu prekursor  $\text{TiO}_2$  yang dapat disintesis menggunakan metode *chemical bath deposition*. Berdasar tabel 2.2  $\text{TiCl}_3$  memiliki sifat porus sehingga cocok untuk diaplikasikan sebagai sensor gas dan  $\text{TiCl}_3$  merupakan prekursor yang sering dipakai di Indonesia karena ketersediaannya banyak.

**Tabel 2.2** Sifat Fisika dan Kimia  $\text{TiCl}_3$  (MSDS).

No.	Sifat	Ket.
1.	Massa atom relatif	154,225 (g/mol)
2.	Kelarutan dalam air	Larut (25 °C)
3.	Densitas	1,12 g/cm <sup>3</sup> (20 °C)
4.	pH	< - 1 ( $\text{H}_2\text{O}$ , 20 °C) (tidak encer)
5.	Titik Lebur	425

Titanium dioksida merupakan salah satu jenis semikonduktor yang dimanfaatkan untuk sensor gas jenis *conductometric*. Titanium dioksida mempunyai kelebihan tidak beracun, stabil dan berproduksi rendah ketika diproduksi secara besar. Fasa anatase Titanium dioksida lebih baik dibanding dengan fase rutile ketika diaplikasikan untuk sensor gas karena mempunyai fotoaktif yang tinggi. (Barathi, 2014) Titanium dioksida anatase murni terbentuk pada pH 8,5 dan 10,5 sedangkan pada pH 3 terbentuk fasa anatase rutile. Pada pH 2,5 hingga 4 terjadi transformasi fasa rutile dan anatase. Nilai pita celah untuk masing-masing pH adalah 3,25, 3,31 dan 3,39 semakin besar pH maka nilai celah energi juga semakin besar (Molea, 2014).

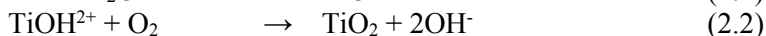
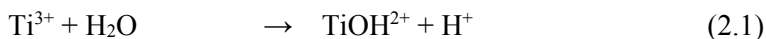
Beberapa metode untuk memproduksi Titanium dioksida antara lain *hydrothermal method*, *sol-gel technique*, *chemical vapor deposition*, *physical vapor deposition*, *solvothermal*, *electrochemical approaches*, *solution combustion*, *microemulsion*

*technique, micelle and inverse micelle methods, combustion flame-chemical vapor condensation process, sonochemical reaction dan plasma evaporation* (Khataee, 2012).

## 2.2 Metode Chemical Bath Deposition

Metode *chemical bath deposition* diperkenalkan pertama kali pada tahun 1980 oleh R.L Call. Saat itu R.L Call membuat lapisan tipis ZnO. Metode ini kemudian dikembangkan oleh peneliti lain dan menggunakan material lain (Mulyadi, 2013).

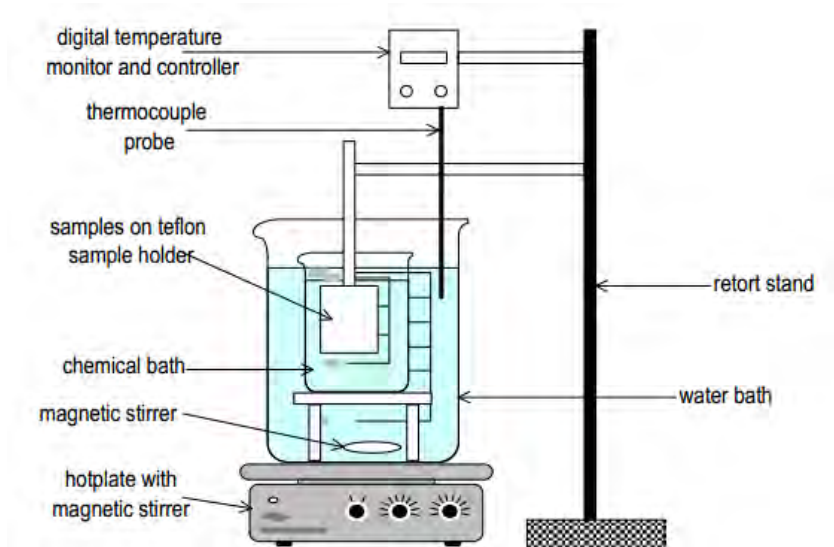
Metode *chemical bath deposition* merupakan salah satu cara fabrikasi lapisan tipis semikonduktor, metode ini memanfaatkan reaksi kimia untuk mendeposisikan prekursor ke dalam substrat (Bayer, 2002 dalam Wang, 2013). Pembentukan lapisan tipis dengan metode *chemical bath deposition* yaitu melalui proses kondensasi ion-ion prekursor pada substrat atau dengan adsorpsi partikel koloid pada substrat (Lokhande, 1991 dalam Wang, 2013). Lapisan tipis akan terdeposisi pada substrat melalui proses hidrolisis yang lambat (Mayabadi, 2013). Lapisan tipis TiO<sub>2</sub> terbentuk dengan cara mengatur proses hidrolisis garam Titanium seperti TiCl<sub>3</sub>, TiF<sub>4</sub>, (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>TiF<sub>6</sub>, *titanium isopropoxide* dan *titanium butoxide* dalam larutan asam. Pertumbuhan dengan metode *chemical bath deposition* merupakan jenis pertumbuhan dengan proses nukleasi heterogen pada permukaan substrat atau proses nukleasi yang homogen pada larutan (Wang, 2013). Secara kimia proses deposisi dapat dituliskan dengan reaksi sebagai berikut:



Deposisi pertumbuhan lapisan tipis dibagi menjadi dua, yaitu pertumbuhan secara epitaksial dan difusi. Pertumbuhan epitaksial merupakan pertumbuhan dengan arah ke atas, terjadi ketika atom-atom terdeposisi saling bertumpukan selama proses deposisi. Sedangkan pertumbuhan difusi yaitu pertumbuhan dengan arah pertumbuhan ke atas maupun ke bawah. Pada proses

*chemical bath deposition* dalam proses deposisinya pertumbuhan lapisan tipis secara epitaksial. Laju pertumbuhan dengan laju linier dan parabolik.

Dibandingkan dengan metode *physical deposition* (*sputtering* DC atau *radio frequency, pulsed laser deposition* (PLD)), metode *chemical bath deposition* mempunyai kelebihan yaitu memiliki biaya pemrosesan yang rendah dan lapisan tipis yang terbentuk memiliki kualitas yang sama dengan metode *physical deposition*. Selain itu, dengan CBD dapat diproduksi metal oksida dengan temperatur proses yang rendah, mampu mendeposisikan pada substrat dengan ukuran yang luas (More, 2008), ramah lingkungan dan dapat menghasilkan metal oksida dengan ukuran kristal kecil (Ariyanto, 2009)



**Gambar 2.4** Metode *chemical bath deposition* (Musembi, 2013)

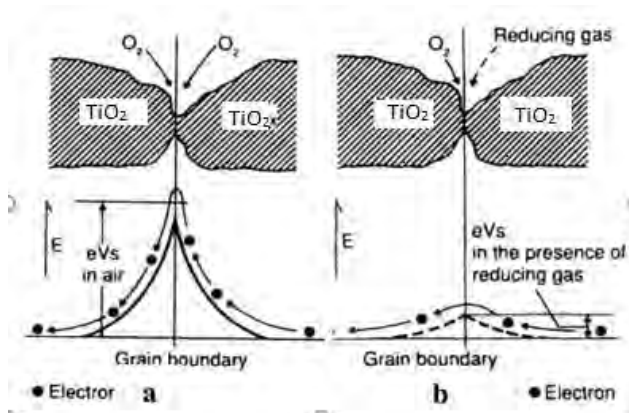
Gambar 2. 4 menunjukkan proses *chemical bath deposition*, pada proses tersebut substrat direndam pada larutan yang diaduk dan temperatur pada larutan dikontrol. Pertumbuhan Titanium dioksida bergantung pada pH larutan, konsentrasi larutan dan temperatur perendaman (Pathan, 2012 dalam Mayabadi, 2014).

Ketebalan lapisan tipis  $\text{TiO}_2$  antara 10 nm hingga 50 nm bergantung pada pH dan waktu deposisi (Lokhande, 2004). Penumbuhan lapisan tipis  $\text{TiO}_2$  menggunakan prekursor  $\text{TiCl}_3$  pada substrat Si dalam larutan asam menghasilkan fase rutile. Penambahan pH akan menyebabkan fase rutile-anatase terbentuk (Selman, 2014). Mayabadi dkk menunjukkan pengaruh waktu deposisi terhadap fase  $\text{TiO}_2$  dan ketebalan lapisan tipis yang terbentuk. Semakin lama waktu deposisi maka akan terbentuk fase rutile murni dan ketebalannya pun semakin tinggi namun besar nilai pita semakin turun (Mayabadi, 2013). Fase anatase amorf lapisan tipis  $\text{TiO}_2$  terjadi pada suhu kalsinasi  $500^\circ\text{C}$ ,  $600^\circ\text{C}$  sedangkan pada suhu  $700^\circ$  mulai muncul rutile sehingga fase menjadi anatase-rutile amorf (Elfanaoui, 2013).

### 2.3 Sensor Gas Volatile Organic Compound (Methanol)

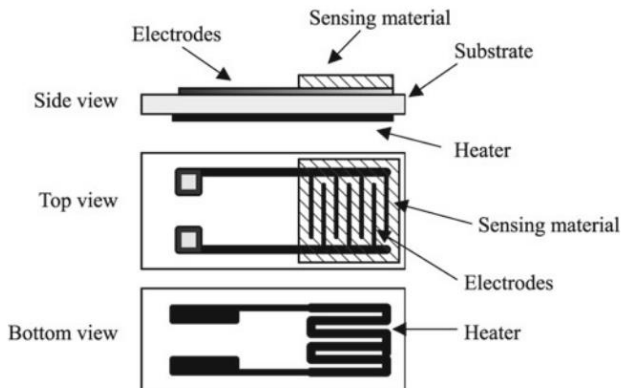
Sensor gas semikonduktor *metal oxide* atau disebut *conductometric* sensor bekerja memakai prinsip *chemiresistor*. Kelebihan sensor gas jenis ini adalah proses fabrikasi mudah, dapat diproduksi dengan biaya rendah.

Prinsip kerja dari sensor yang memanfaatkan perubahan resistansi. Seperti yang ditunjukkan oleh gambar 2.5 perubahan resistansi terjadi karena adanya reaksi redoks pada permukaan sensor. Oksidasi terjadi ketika penyerapan oksigen oleh lapisan permukaan sensor, akibatnya elektron akan tertarik dari pita konduksi. Dalam keadaan ini nilai resistansi meningkat sehingga kemampuan menghantarkan listrik berkurang. Saat disekitar sensor muncul gas VOC gas tersebut bereaksi dengan oksigen. Reaksi ini disebut reaksi reduksi, reaksi ini menyebabkan elektron yang terikat oleh oksigen akan terlepas sehingga menyebabkan nilai resistansi menurun.



**Gambar 2.5** Prinsip kerja material sensor gas (Mulyadi, 2013)

*Conductometric* sensor terdiri dari 3 bagian, yaitu *sensitive conducting layer*, *heater* dan elektroda. Gambar 2.6 menunjukkan bagian-bagian dari sensor gas tampak dari samping, atas dan belakang. *Sensitive layer* pada penelitian ini berupa  $\text{TiO}_2$  *thin film*. *Heater* berada dibawah *sensitive layer*. Elektroda merupakan konduktor yang digunakan untuk mengalirkan arus DC. Gambar 2.6 merupakan struktur *conductometric* sensor :



**Gambar 2.6** Struktur *conductometric* sensors (Khataee, 2012)

Titanium dioksida nanotube fase anatase-rutile digunakan sebagai material *sensitive layer* pada sensor gas monoksida. Lapisan tipis titanium dioksida tersebut mempunyai ketebalan 600 nm dan dideposisi dengan metode RF Magnetron sputtering. Sensor tersebut mempunyai respon yang bagus dengan konsentrasi gas karbonmonoksida 450 ppm hingga 850 ppm pada temperatur tinggi (Perillo, 2012).

Titanium dioksida yang didoping dengan kromium dan diaplikasikan sebagai sensor gas mempunyai karakteristik ukuran kristal antara 9 nm-27 nm. Semakin kecil ukuran kristal maka nilai spesifik surface area semakin besar. Sampel yang cocok diaplikasikan sebagai sensor gas adalah sampel dengan ukuran kristal kecil dan *specific surface area* besar (Radecka, 2010).

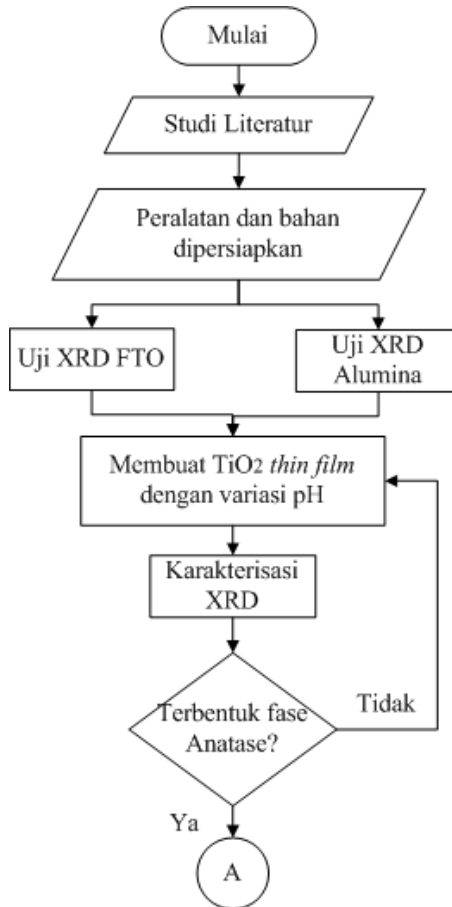


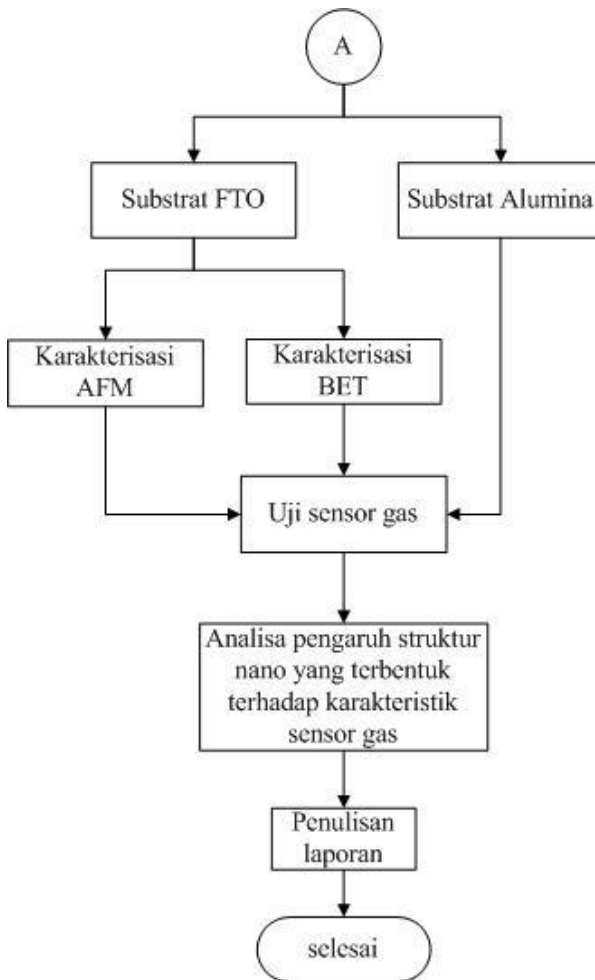
**“Halaman ini memang dikosongkan”**

## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Diagram Alir Penelitian

Tahap penelitian tentang pembuatan lapisan tipis  $\text{TiO}_2$  anatase sebagai sensor gas digambarkan seperti pada gambar 3.1:





**Gambar 3.1** Diagram alir penelitian tugas akhir

### 3.2 Persiapan Alat dan Bahan

Bahan yang dipersiapkan untuk pembuatan lapisan tipis  $\text{TiO}_2$  adalah FTO (*fluor doped tin oxide*) glass, *titanium trichloride* ( $\text{TiCl}_3$ ), urea ( $\text{NH}_2\text{CONH}_2$ ), ammonia ( $\text{NH}_4\text{OH}$ -15%), *bidistilled water*, *acetone*

Alat-alat yang diperlukan untuk pembuatan lapisan tipis  $\text{TiO}_2$  adalah gelas *beaker* 500 ml, gelas *beaker* 250 ml, gelas ukur 10 ml, *magnetic stirrer*, *hot plate* Yellow MAG HS7, *ultrasonic bath*, pH meter, *furnace*, pipet, *crucible*

### 3.3 Sintesis $\text{TiO}_2$ Anatase dengan *Chemical Bath Deposition*

Langkah – langkah dalam pembuatan lapisan tipis  $\text{TiO}_2$  anatase sebagai berikut:

- FTO glass dicuci dengan detergent, dikeringkan kemudian dibersihkan dengan menggunakan *ultrasonic bath* dalam larutan *acetone*.
- 4 ml  $\text{TiCl}_3$  diaduk bersama dengan 50 ml *bidistilled water*, kemudian ditambah dengan urea 0,1 M. Diaduk kembali dengan *magnetic stirrer* selama 2-3 menit hingga larutan berwarna ungu cerah.
- Larutan yang telah dibuat ditetesi dengan ammonia hingga mencapai pH yang diinginkan dan aluran berubah menjadi ungu kehitaman.
- Setelah pH yang ditentukan telah tercapai, larutan diaduk pada suhu ruang ( $27^\circ\text{C}$ ) selama 1 jam hingga larutan yang berwarna ungu kehitaman menjadi putih
- Selanjutnya, FTO direndam sambil diaduk pada suhu  $55^\circ\text{C}$  selama 2 jam dalam larutan (gambar 3.2).



**Gambar 3.2** Substrat direndam dalam larutan  $\text{TiO}_2$

- f. Setelah direndam selama 2 jam, FTO diangkat kemudian dikeringkan dan dimasukkan dalam *furnace* selama 2 jam pada suhu 550°C

### 3.4 Karakterisasi TiO<sub>2</sub>

#### 3.4.1 Pengujian XRD (*X-Ray Diffraction*)

XRD merupakan karakterisasi TiO<sub>2</sub> yang dapat digunakan untuk mengetahui fase TiO<sub>2</sub> yang telah dibuat, selain itu hasil XRD dapat digunakan untuk menghitung ukuran kristal. Pengujian XRD menggunakan Philips Xpert MPD (30 kV, 40 mA) di jurusan Teknik Material dan Metalurgi ITS, seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.3.



**Gambar 3.3** XRD Philips Xpert MPD

Sinar X merupakan salah satu bentuk radiasi elektromagnetik yang mempunyai panjang gelombang radiasi logam referensi 1,5-2,5 Å. Panjang gelombang ini hampir sama dengan jarak atom dalam kristal. Jika sinar X mengenai sebuah bahan, maka intensitas yang ditransmisikan akan lebih kecil dari pada intensitas awal, sebelum mengenai bahan. Hal ini dikarenakan sinar yang datang ada yang diserap dan dihamburkan oleh bahan. Berkas sinar yang dihamburkan akan saling menghilangkan jika berkas tersebut mempunyai fase yang berbeda. Sedangkan berkas

yang mempunyai fase sama akan saling menguatkan, berkas ini yang disebut berkas difraksi.

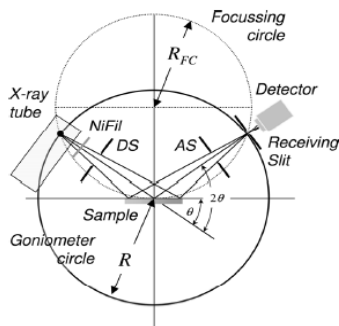
Syarat agar sinar X yang dihamburkan merupakan berkas difraksi, sinar tersebut harus sesuai dengan hukum Bragg. Hukum Bragg menyatakan bahwa perbedaan lintasan berkas difraksi sinar x harus kelipatan panjang gelombang.

$$n\lambda = d \sin \theta \quad (3.1)$$

dengan :

- n : bilangan bulat (1,2,3.....)
- $\lambda$  : panjang gelombang sinar X
- d : jarak antar bidang kisi
- $\theta$  : sudut difraksi

Komponen yang terdapat dalam XRD yaitu, sinar X, material uji dan detektor. Sinar X berasal dari elektron yang keluar dari filamen panas dengan tegangan tinggi pada keadaan vakum. Sinar tersebut mempunyai kecepatan tinggi dan menumbuk permukaan logam, biasanya tembaga. Setelah itu sinar X menembak bahan uji dan mendifraksikan sinar ke segala arah dengan memenuhi hukum Bragg. Detektor akan mendeteksi berkas sinar yang bergerak dengan kecepatan sudut yang konstant.



**Gambar 3.4** Prinsip kerja XRD (Putri, 2014)

Pengujian XRD akan menghasilkan grafik hubungan intensitas dengan sudut  $2\theta$ , dari hasil tersebut dapat digunakan untuk menghitung ukuran kristal dengan menggunakan rumus Scherrer (Mayabadi dkk, 2013):

$$D = \frac{k\lambda}{\beta \times \cos \theta} \quad (3.2)$$

dengan

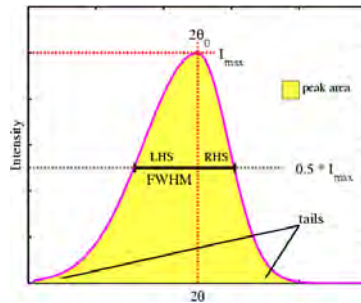
D : ukuran kristal (nm)

k : konstanta dengan nilai 0,9

$\lambda$  : panjang gelombang sinar X (Cu K $\lambda$ ) bernilai 0,154 nm

$\beta$  : Full Width Half Maximum dalam radian

$\theta$  : sudut difraksi.



**Gambar 3.5** Ilustrasi perhitungan FWHM (Budiarti, 2014)

Identifikasi fase yang terbentuk dapat menggunakan *Joint Committee on Powder Diffraction Standards* (JCPDS) 21-1272 untuk anatase dan JCPDS 21-1276. Hasil pengujian XRD dapat digunakan untuk menghitung fraksi fase yang terbentuk. Berikut persamaan untuk menghitung fraksi fase (Zhang dalam Zhu, 2005).

$$W_A = \frac{0,884 A_A}{0,884 A_A + A_R + 2,721 A_B} \quad (3.3)$$

$$W_R = \frac{A_R}{0,884 A_A + A_R + 2,721 A_B} \quad (3.4)$$

$$W_B = \frac{2,721 A_B}{0,884 A_A + A_R + 2,721 A_B} \quad (3.5)$$

dengan:

$W_A, W_R, W_B$  = fraksi fase anatase, rutil dan brookite

$A_A, A_R, A_B$  = intensitas fase anatase (101), rutil (110) dan brookite (121)

### 3.4.2 Karakterisasi BET

Pengujian BET (*Brunauer Emmett Teller*) digunakan untuk mengetahui luas permukaan, volume pori, distribusi pori dan *roughness factor*. Uji BET dilakukan di Teknik Metalurgi dan Material Universitas Indonesia. Alat uji BET ditunjukkan pada gambar 3.6

Prinsip BET yaitu dengan mengadsorpsi gas nitrogen ( $N_2$ ) oleh sampel uji pada suhu konstant (biasanya pada temperatur didih gas nitrogen). Pada dasarnya alat tersebut berprinsip pada pengukuran jumlah gas yang dapat diserap oleh material uji, dengan mengetahui volume gas yang dapat diserap maka dapat mengetahui luas permukaan, distribusi pori, volume pori material uji tersebut.



**Gambar 3.6** NOVA 1200e



Material yang akan diuji terlebih dahulu diberi perlakuan awal yaitu menghilangkan gas-gas yang terserap oleh material uji (degassing). Proses degassing dilakukan dengan memasukkan material uji ke dalam tabung, kemudian tabung ditutup dan dihubungkan dengan port degassing. Setelah proses degassing, material uji ditimbang untuk mengetahui berat setelah dibersihkan dari gas-gas yang terserap. Langkah selanjutnya dengan mengalirkan gas nitrogen untuk mengetahui banyaknya volume gas nitrogen yang dapat diserap oleh material uji.

Dari data yang diperoleh dari uji BET, dapat dilakukan perhitungan luas permukaan (Tanaka dan Suganuma, 2001)

$$S = \frac{n}{\rho D_{av}} \quad (3.6)$$

dengan:

S = luas permukaan partikel ( $\text{m}^2/\text{g}$ )

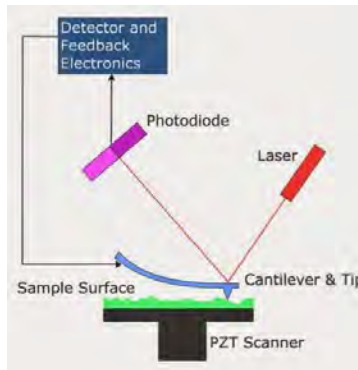
n = partikel faktor ( $n=6$ )

$\rho$  = massa jenis  $\text{TiO}_2$  ( $4,23 \text{ g/cm}^3$ )

$D_{av}$  = ukuran partikel rata-rata

### 3.4.3 Pengujian AFM

Uji AFM dilakukan untuk mengetahui topografi dari lapisan tipis  $\text{TiO}_2$  yang dibuat.



**Gambar 3.7** Prinsip kerja AFM

Terdapat tiga komponen penting pada AFM seperti yang diunjukkan pada gambar 3.7 yaitu *cantilever*, *scanner* dan *feedback control*. *Cantilever* merupakan komponen yang bersentuhan langsung dengan material uji, pada komponen ini terdapat *tip* berukuran nano sehingga dapat digunakan untuk mendeteksi dalam skala nano. *Scanner* berguna sebagai pengontrol tip ke arah x, y atau z. *Feedback control* berfungsi untuk menerjemahkan sinyal yang diberikan oleh *tip*.



**Gambar 3.8** Alat uji AFM Brüker N8 Neos

Gambar 3.8 merupakan alat uji AFM LPPM ITS dengan merk Bruker type N8 Neos yang digunakan untuk mengetahui topografi sampel lapisan tipis  $\text{TiO}_2$ .

#### **3.4.4 Pengujian sensor gas *volatile organic compound* (VOC)**

Uji gas sensor dilakukan untuk mengetahui kinerja  $\text{TiO}_2$  *thin film* ketika digunakan sebagai gas sensor VOC-Methanol. Uji sensor dilakukan pada suhu ruang,  $100^\circ\text{C}$  pada substrat FTO. Sedangkan pada substrat alumina pada suhu ruang,  $100^\circ\text{C}$  dan  $200^\circ\text{C}$ . Hasil uji ini berupa hubungan perubahan resistansi terhadap waktu karena perbedaan konsentrasi pada permukaan

sampel. Hasil berupa resistansi tersebut dapat digunakan untuk menghitung respon sensor melalui persamaan (Radecka, 2010)

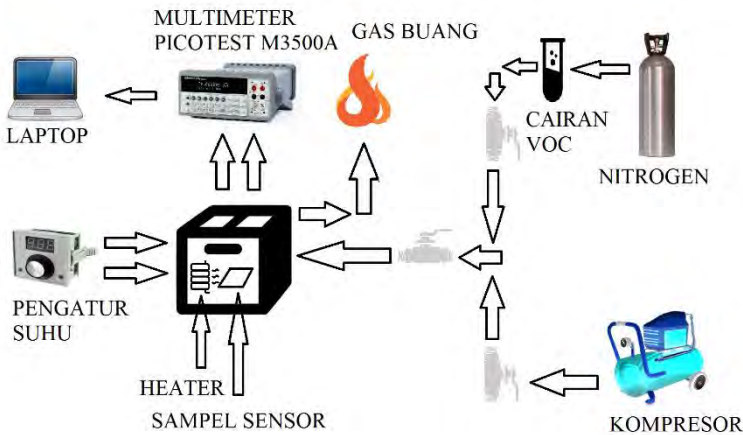
$$S = \frac{R_0 - R}{R} \quad (3.10)$$

dengan:

S = respon

R<sub>0</sub> = resistansi awal

R = resistansi dari hasil pengukuran



**Gambar 3.9** Skema uji sensor gas

Gambar 3.9 merupakan peralatan uji sensor gas methanol. Kompresor digunakan untuk mengalirkan udara pada sampel. Heater digunakan untuk memanaskan sampel. Nilai resistansi dapat dibaca melalui multimeter picotest M35000A dan dihubungkan pada laptop untuk menyimpan data. Cairan methanol ditempatkan pada bubbler yang kemudian penguapan methanol dibantu oleh nitrogen.

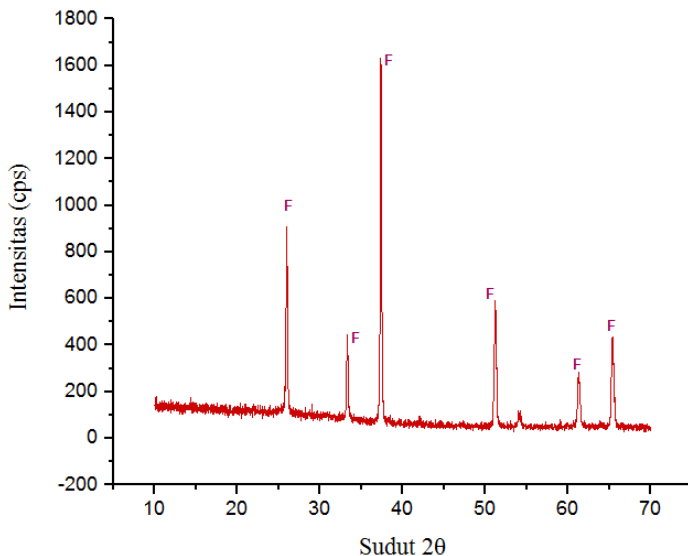
## BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Hasil dan Analisa Pengujian XRD

Analisa hasil XRD meliputi perhitungan ukuran kristal menggunakan persamaan Scherrer. Uji XRD dilakukan terhadap sampel  $\text{TiO}_2$  yang ditumbuhkan pada substrat FTO, substrat alumina dan serbuk  $\text{TiO}_2$ . Analisa fase  $\text{TiO}_2$  yang dimiliki oleh masing-masing sampel menggunakan acuan standar JCPDS 00-021-1272 dan 00-004-0551 untuk fase anatase. Sedangkan fase rutile menggunakan JCPDS 00-21-1276.

#### 4.1.1 Penumbuhan $\text{TiO}_2$ pada substrat FTO

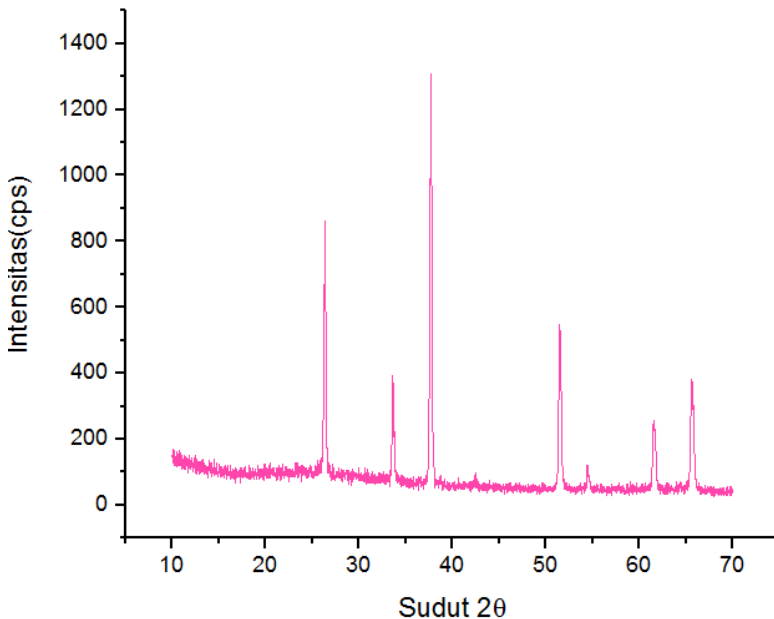
Hasil uji XRD digambarkan dengan grafik intensitas terhadap sudut  $2\theta$ . Uji XRD dilakukan untuk mengetahui karakteristik material uji. Hasil uji XRD dapat juga untuk mengetahui ukuran kristal menggunakan persamaan (3.2).



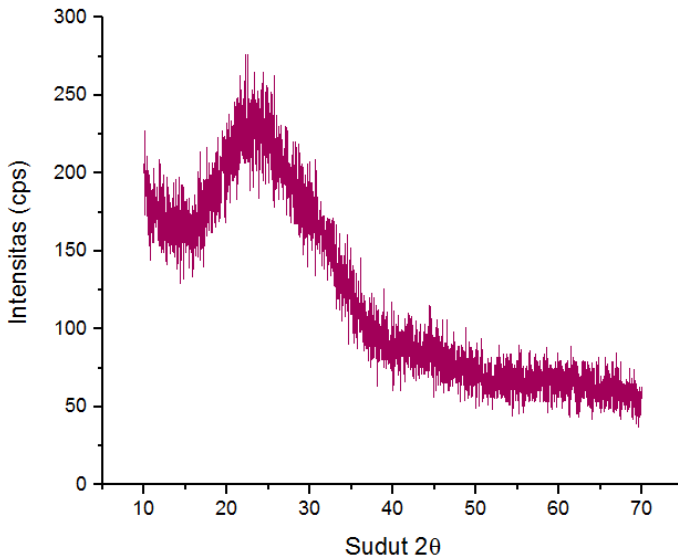
**Gambar 4.1** Hasil XRD substrat FTO

Substrat FTO digunakan sebagai media penumbuhan lapisan tipis  $\text{TiO}_2$ . Hasil pengujian FTO seperti pada gambar 4.1. Hasil uji menunjukkan substrat FTO memiliki 7 peak pada  $2\theta$  yaitu  $25,955^\circ$ ,  $33,295^\circ$ ,  $37,337^\circ$ ,  $51,118^\circ$ ,  $54,084^\circ$ ,  $61,245^\circ$  dan  $65,293^\circ$ .

Penumbuhan lapisan tipis  $\text{TiO}_2$  dengan prekursor  $\text{TiCl}_3$  menggunakan urea sebagai pengatur pH. Pembuatan lapisan tipis  $\text{TiO}_2$  dilakukan pada pH 3,8 dengan keadaan substrat direndam saja dan direndam sekaligus diaduk. Gambar 4.2 menunjukkan kurva hasil XRD  $\text{TiO}_2$  pada substrat FTO yang hanya direndam pada larutan. Berdasarkan hasil tersebut, puncak yang muncul memiliki sudut  $2\theta$  yang sama dengan hasil XRD substrat FTO, namun memiliki intensitas berbeda.



**Gambar 4.2** Hasil XRD lapisan tipis  $\text{TiO}_2$  pada FTO yang direndam



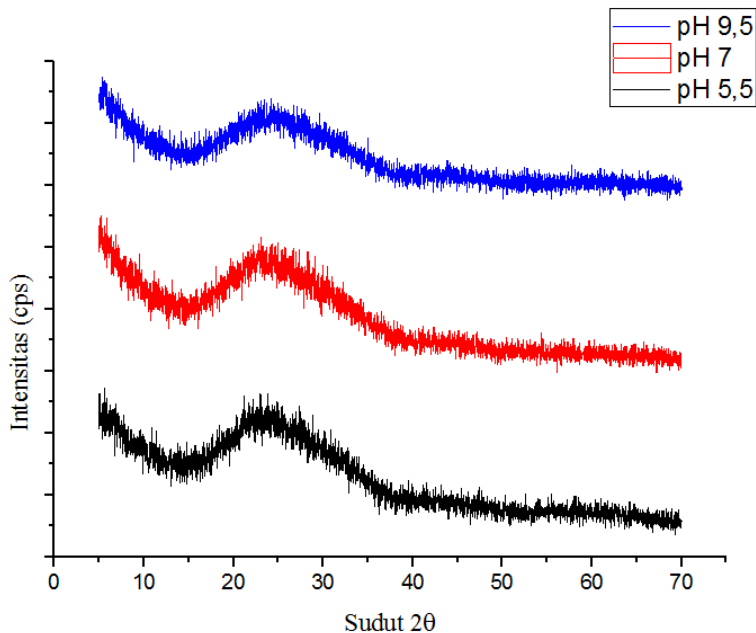
**Gambar 4.3** Hasil XRD lapisan tipis  $\text{TiO}_2$  pada FTO yang direndam dan diaduk

Berdasarkan hasil kurva pada gambar 4.3, pada kondisi pH yang sama dengan gambar 4.2 yaitu 3,8 menunjukkan hasil anatase amorf. Ini terjadi karena perbedaan cara perendaman, pada gambar 4.2 substrat hanya dilakukan proses perendaman, namun pada gambar 4.3 dilakukan perendaman sekaligus pengadukan pada substrat. Berdasarkan hasil tersebut dapat dikatakan bahwa pengadukan akan mempengaruhi pertumbuhan  $\text{TiO}_2$  pada kaca FTO.

Pengaturan pH dengan menggunakan urea akan menghasilkan penambahan nilai pH yang tidak terlalu tinggi karena urea termasuk basa lemah. Oleh karena hal tersebut, penambahan pH tidak hanya menggunakan urea namun ditambah dengan ammonia (Mayabadi, 2014).

Penumbuhan  $\text{TiO}_2$  pada substrat FTO dengan menggunakan urea dan ammonia dilakukan pada pH 5,5, pH 7 dan pH 9,5. Penumbuhan  $\text{TiO}_2$  pada substrat FTO dilakukan dengan merendam sekaligus mengaduk larutan. Berikut ini merupakan

hasil XRD  $\text{TiO}_2$  pada substrat FTO dengan penambahan ammonia.



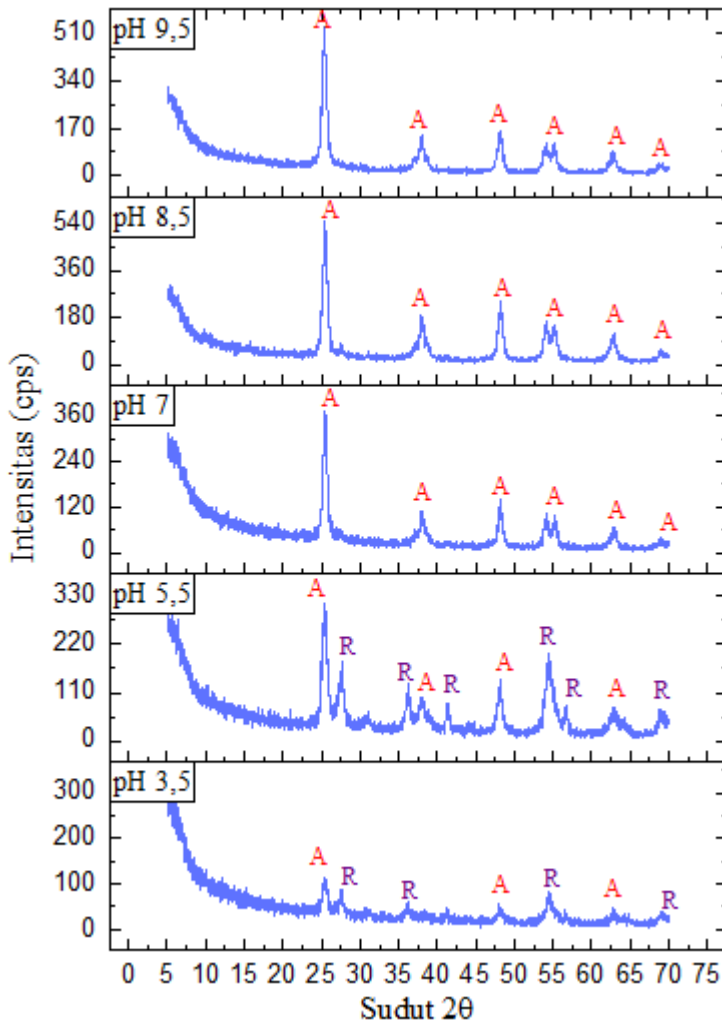
**Gambar 4.4** Hasil XRD lapisan tipis  $\text{TiO}_2$  pada substrat FTO

Kurva pada gambar 4.4 menunjukkan jika pada pH 5,5, pH 7 dan pH 9,5 memiliki fase anatase amorf. Hasil uji ini menunjukkan perbedaan antara  $\text{TiO}_2$  yang telah ditumbuhkan pada substrat FTO dengan hasil uji substrat FTO (gambar 4.1). Ini berarti  $\text{TiO}_2$  yang disintesis dengan pH 5,5, pH 7 dan pH 9,5 telah tumbuh pada substrat FTO. Melalui persamaan Scherrer (3.2) dihitung ukuran kristal  $\text{TiO}_2$  pada substrat FTO (Tabel 4.1)

**Tabel 4.1** Ukuran Kristal  $\text{TiO}_2$  pada Substrat FTO

Variasi pH	Fase	Ukuran kristal
5,5	Anatase	18,89 nm
7	Anatase	17,62 nm
9,5	Anatase	16,25 nm

Hasil perendaman substrat FTO pada larutan, didapatkan hasil lain berupa serbuk  $\text{TiO}_2$ .



**Gambar 4.5** Hasil uji XRD serbuk  $\text{TiO}_2$



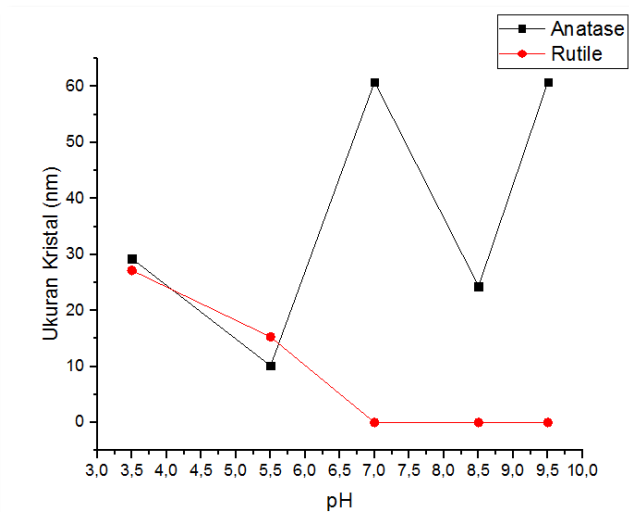
Hasil pengujian XRD serbuk  $\text{TiO}_2$  untuk variasi pH 3,5, pH 5,5, pH 7, pH 8,5 dan pH 9,5 dilihat pada gambar 4.5. Pada kurva sintesis  $\text{TiO}_2$  dengan pH 3,5 dan pH 5,5 fase yang terbentuk adalah fase anatase-rutile. Serbuk dengan pH 7, pH 8,5 dan pH 9,5 mempunyai fase anatase. Hasil tersebut sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Molea, yaitu semakin tinggi pH maka fase cenderung anatase (Molea, 2014). Perhitungan ukuran kristal menggunakan persamaan (3.2), sedangkan untuk menghitung fraksi fase anatase, rutile dan brookite menggunakan persamaan (3.3) sampai (3.5).

**Tabel 4.2** Hasil Perhitungan Ukuran Kristal dan Fraksi Fase

Variasi pH	Fase	Ukuran kristal (nm)	Fraksi Fase
3,5	Anatase	20,27	0,60
	Rutile	27,16	0,40
	Brookite	-	0
5,5	Anatase	10,14	0,64
	Rutile	15,28	0,36
	Brookite	-	0
7	Anatase	60,85	1
	Rutile	-	0
	Brookite	-	0
8,5	Anatase	24,33	1
	Rutile	-	0
	Brookite	-	0
9,5	Anatase	60,85	1
	Rutile	-	0
	Brookite	-	0

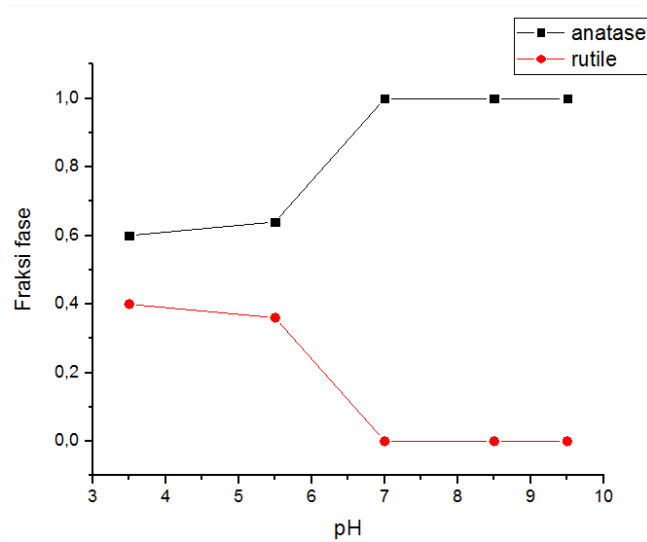
Hasil perhitungan fraksi fasa  $\text{TiO}_2$  dapat dilihat pada tabel 4.2. Pada variasi pH 5,5, lapisan tipis  $\text{TiO}_2$  mempunyai fase anatase sedangkan pada serbuk,  $\text{TiO}_2$  telah berupa anatase-rutile.

Dilihat dari ukuran kristalnya, pada pH 5,5 lapisan tipis memiliki ukuran kristal lebih kecil dibanding dengan serbuk  $\text{TiO}_2$ . Variasi pH 7 dan pH 9,5 berupa lapisan tipis memiliki fase anatase, untuk serbuk  $\text{TiO}_2$  juga berfase anatase. Sedangkan jika dilihat dari ukuran kristal,  $\text{TiO}_2$  yang ditumbuhkan pada substrat FTO memiliki ukuran kristal kurang dari 20 nm, untuk serbuk  $\text{TiO}_2$  memiliki ukuran kristal lebih dari 20 nm. Dari hasil tersebut dapat diketahui jika substrat dapat memperlambat transformasi  $\text{TiO}_2$  anatase menjadi  $\text{TiO}_2$  berfase rutile. Selain itu, penggunaan substrat juga dapat membuat ukuran kristal menjadi lebih kecil.



**Gambar 4.6** Pengaruh pH terhadap ukuran kristal serbuk  $\text{TiO}_2$

Pengaruh pH terhadap ukuran kristal anatase dan rutile yang terbentuk ditunjukkan pada gambar 4.6. Tampak pada gambar tersebut variasi pH 3,5 dan pH 5,5 memiliki fase anatase-rutile dengan ukuran semakin menurun ketika pH ditambah. Serbuk  $\text{TiO}_2$  dengan pH 7, pH 8,5 dan pH 9,5 memiliki fase anatase sehingga dalam variasi tersebut tidak terdapat rutile.

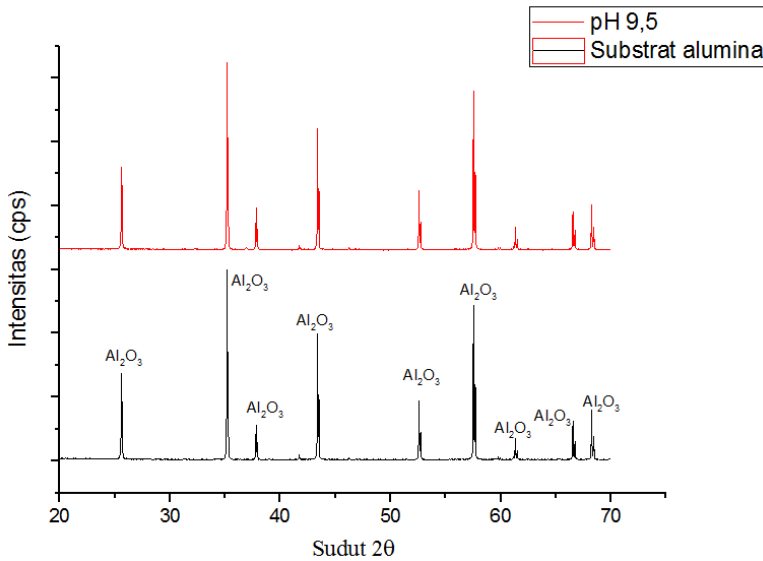


**Gambar 4.7** Pengaruh pH terhadap fraksi fase

Adapun pengaruh pH terhadap fraksi fase anatase dan rutile dilihat pada gambar 4.7. Kurva tersebut memiliki nilai berkebalikan, semakin tinggi fraksi fase anatase maka fraksi rutile semakin menurun.

#### 4.1.2 Penumbuhan $\text{TiO}_2$ pada substrat alumina

Penumbuhan  $\text{TiO}_2$  pada substrat alumina digunakan sebagai sampel untuk keperluan uji sensor gas. Penumbuhan  $\text{TiO}_2$  pada substrat alumina menggunakan urea dan ammonia sebagai pengatur variasi pH. Untuk mengetahui apakah  $\text{TiO}_2$  telah tumbuh pada substrat maka dilakukan pengujian XRD pada substrat alumina dan substrat alumina yang telah ditumbuhkan  $\text{TiO}_2$  dengan hasil seperti pada gambar 4.8

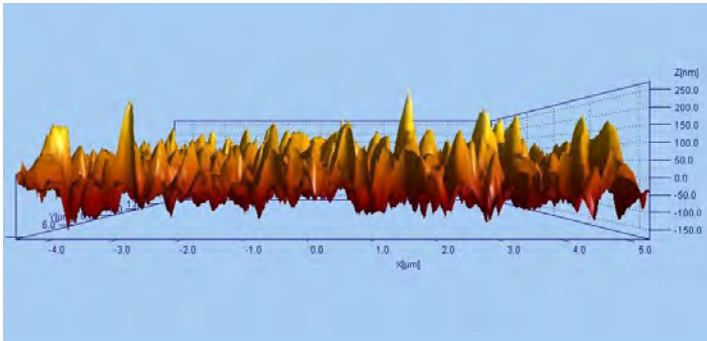


**Gambar 4.8** Hasil XRD substrat alumina dan  $\text{TiO}_2$  pada alumina

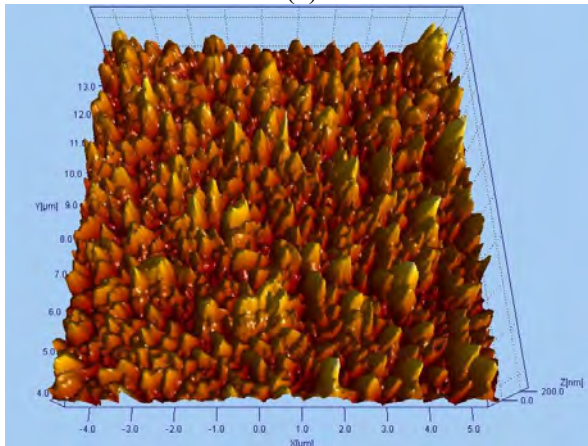
Tampak pada hasil XRD gambar 4.8 bahwa puncak dari substrat alumina dan puncak alumina yang telah direndam dengan larutan  $\text{TiO}_2$  memiliki nilai  $2\theta$  yang sama meskipun dengan intensitas berbeda. Hal ini menunjukkan bahwa  $\text{TiO}_2$  belum terdeposisi pada substrat alumina

#### 4.2 Hasil dan Analisa Pengujian AFM

Uji AFM (*Atomic Force Microscope*) digunakan untuk mengetahui topografi permukaan  $\text{TiO}_2$  yang ditumbuhkan pada FTO. Gambar 4.9, 4.10 dan 4.11 merupakan hasil uji AFM pada lapisan tipis  $\text{TiO}_2$  dengan pH 3,5, pH 7 dan pH 9,5 dengan (a) tampak samping dan (b) tampak atas.



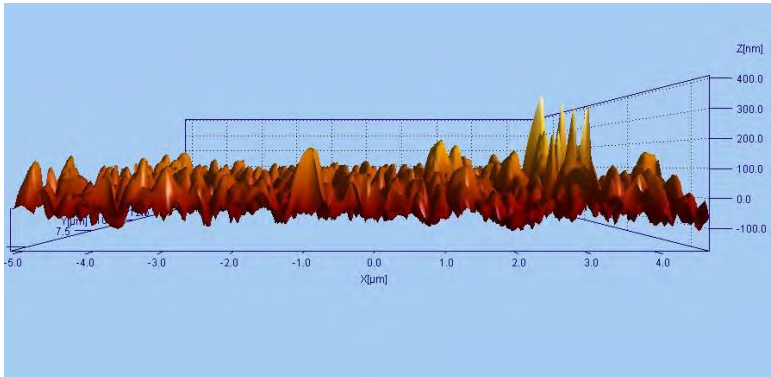
(a)



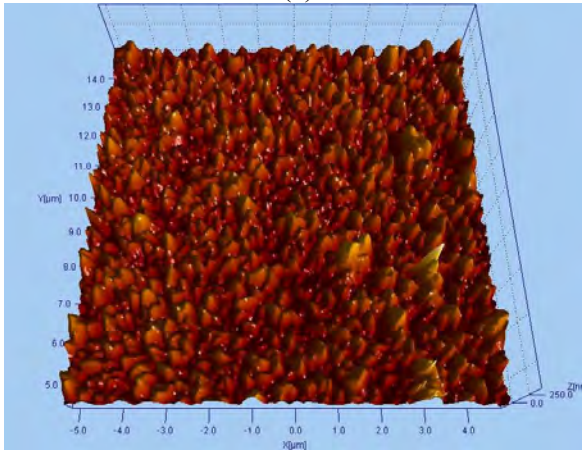
(b)

**Gambar 4.9** Topografi lapisan tipis  $\text{TiO}_2$  pH 3,5 (a) tampak samping (b) tampak atas

Topografi lapisan tipis  $\text{TiO}_2$  dengan pH 3,5 ditunjukkan pada gambar 4.9. Dilihat dari samping maka dapat diketahui tinggi dari masing-masing puncak. Dari topologi tersebut dapat dilihat kontur dari  $\text{TiO}_2$  dengan pH 3,5 memiliki puncak yang bervariasi karena pertumbuhan  $\text{TiO}_2$  belum merata keseluruhan permukaan substrat. Gambar tersebut juga menunjukkan butiran halus lebih banyak dibanding dengan butiran kasar. Hal ini dikarenakan fraksi fase rutil pada pH 3,5 sebesar 40%.



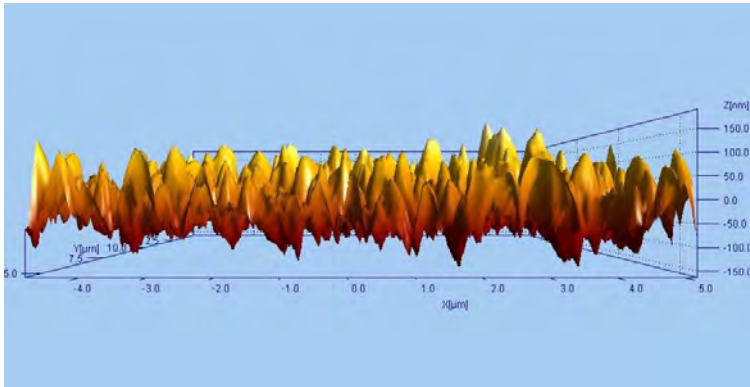
(a)



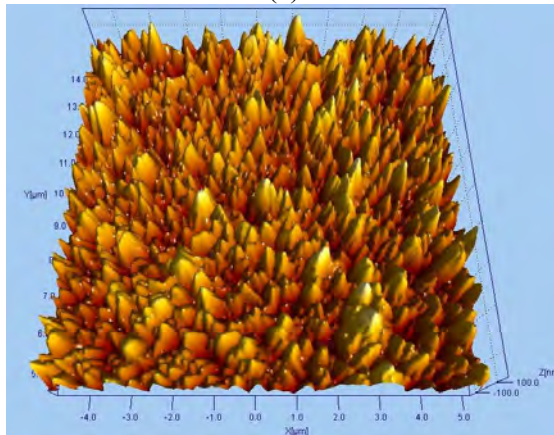
(b)

**Gambar 4.10** Topografi lapisan tipis  $\text{TiO}_2$  pH 7 (a) tampak atas (b) tampak samping

Gambar 4.10 menunjukkan topografi lapisan tipis  $\text{TiO}_2$  dengan pH 7. Pada gambar tersebut dapat dilihat jika pada pH 7,  $\text{TiO}_2$  memiliki tinggi puncak yang hampir rata pada seluruh permukaan, namun terdapat beberapa puncak yang tingginya melebihi puncak lain. Hampir seluruh permukaan sampel tumbuh butiran halus.



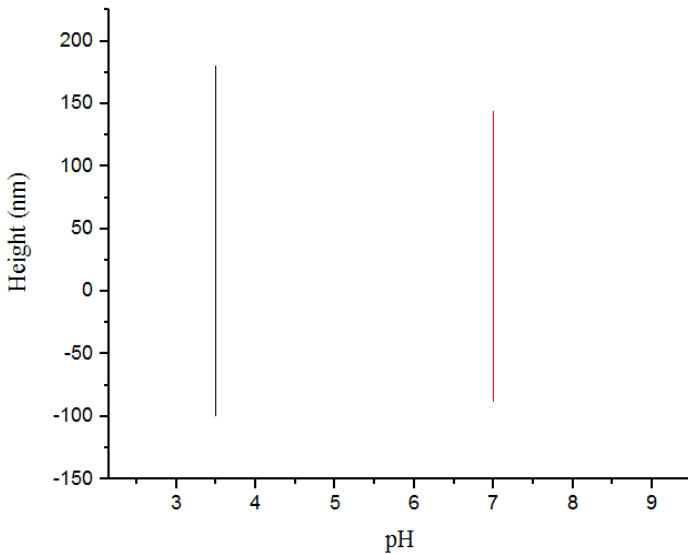
(a)



(b)

**Gambar 4.11** Topografi lapisan tipis  $\text{TiO}_2$  pH 9,5 (a) tampak atas (b) tampak samping

Topografi lapisan tipis  $\text{TiO}_2$  dengan pH 9,5 ditunjukkan pada gambar 4.11. Pada variasi pH tersebut memiliki kontur permukaan dengan puncak tinggi yang merata pada seluruh permukaan substrat. Untuk membandingkan rentang tinggi puncak pada masing-masing variasi dapat dilihat pada gambar 4.12



**Gambar 4.12** Rentang puncak tertinggi lapisan tipis  $\text{TiO}_2$  pada substrat FTO

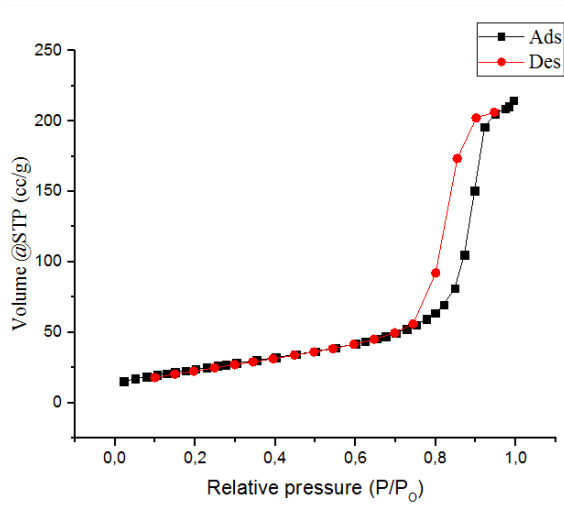
Gambar 4.12 tersebut menunjukkan bahwa  $\text{TiO}_2$  dengan pH 3,5 memiliki puncak yang tinggi jika dibanding dengan pH 7 dan pH 9,5. Sedangkan pH 7 memiliki tinggi puncak yang hampir sama pada seluruh permukaan, namun memiliki puncak paling kecil jika dibanding variasi pH 5,5 dan pH 9,5.

#### 4.3 Hasil dan Analisa Pengujian BET

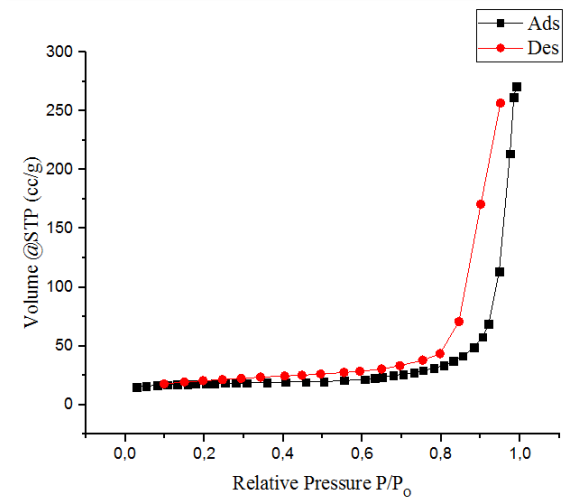
Pengujian BET (Brunauer Emmett Teller) dilakukan untuk mendapatkan luas permukaan, volume pori dan diameter pori. Uji BET dilakukan pada sampel dengan variasi pH 3,5, pH 8,5 dan pH 9,5. Hasil uji BET berupa kurva hubungan volume gas  $\text{N}_2$  pada keadaan STP terhadap tekanan relatif pada saat adsorpsi dan desorpsi. Tipe kurva dapat dilihat dari *IUPAC Classification of Adsorption Isotherms*.

Berikut ini merupakan hasil uji BET sampel dengan pH 3,5, pH 8,5 dan pH 9,5

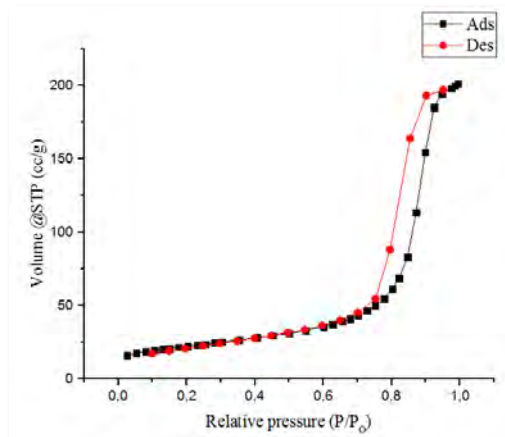




**Gambar 4.13** Kurva adsorpsi-desorpsi serbuk  $\text{TiO}_2$  dengan pH 3,5



**Gambar 4.14** Kurva adsorpsi - desorpsi serbuk  $\text{TiO}_2$  dengan pH 8,5



**Gambar 4.15** Kurva adsorpsi-desorpsi serbuk  $\text{TiO}_2$  dengan pH 9,5

Pada uji BET pH 3,5, pH 8,5 dan 9,5 memiliki pola pola adsorpsi isoterm dengan hysteresis tipe V dan H1. Adsorpsi isoterm tipe V berarti pada sampel tersebut memiliki interaksi antara materi yang mengadsorpsi (adsorben) dan materi yang teradsorpsi (adsorbat) yang lemah, namun adsorben memiliki sifat porus. Histeresis tipe H1 membuktikan material tersebut porus (*IUPAC Classification of Adsorption Isotherms*). Diameter pori untuk masing-masing sampel tersebut adalah 7,48 nm, 15,03 nm dan 8,02 nm. Ketiga sampel tersebut termasuk dalam adsorben mesopori (material mesopori memiliki diameter pori 2 nm - 50 nm). Ukuran partikel dapat dihitung dengan persamaan (3.6).

**Tabel 4.3** Data Hasil Uji BET

Variasi pH	Luas Permukaan ( $\text{m}^2/\text{g}$ )	Volume Pori (cc/g)	Diameter Pori (nm)	Ukuran Partikel (nm)
3,5	88,8	0,33	7,48	15,97
8,5	55,79	0,42	15,03	25,42
9,5	77,69	0,31	8,02	18,26

Hasil BET dilakukan untuk mengetahui luas permukaan, dimana luas permukaan akan berpengaruh terhadap kinerja  $\text{TiO}_2$  sebagai sensor gas. Pada  $\text{TiO}_2$  pH 3,5 memiliki luas permukaan  $88,8 \text{ m}^2/\text{g}$ , pH 8,5 memiliki luas permukaan  $55,79 \text{ m}^2/\text{g}$  dan pada pH 9,5 memiliki luas permukaan  $77,69 \text{ m}^2/\text{g}$ . Ketiga sampel tersebut memiliki ukuran partikel masing-masing 15,97 nm, 25,42 nm dan 18,26 nm. Hal ini menunjukkan bahwa semakin kecil ukuran partikel maka nilai luas permukaan semakin besar.  $\text{TiO}_2$  yang memiliki nilai luas permukaan yang besar, lebih cocok ketika diaplikasikan sebagai material sensor gas (Radecka, 2010).

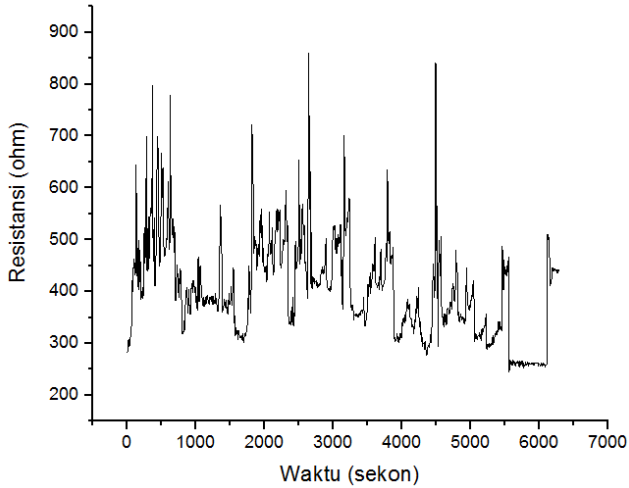
#### **4.4 Hasil dan Analisa Pengujian Sensor Gas VOC (Methanol)**

Uji gas sensor dilakukan pada lapisan tipis  $\text{TiO}_2$  yang menggunakan substrat FTO dan substrat alumina. Pada lapisan tipis dengan substrat FTO dilakukan pengujian pada suhu ruang dan suhu  $100^\circ\text{C}$ . Sedangkan lapisan tipis dengan substrat alumina diuji pada suhu ruang,  $100^\circ\text{C}$  dan  $200^\circ\text{C}$ . Hasil uji berupa hubungan resistansi terhadap waktu. Pengujian dilakukan dengan memberikan udara dengan kompresor, setelah nilai resistansi stabil kemudian diberikan gas methanol untuk mengetahui responnya.

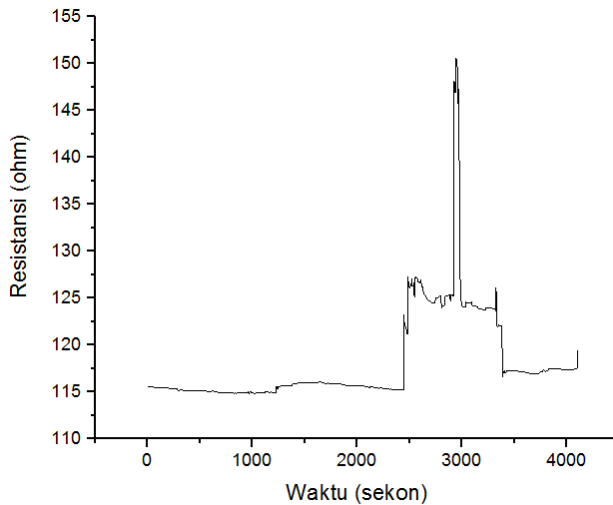
##### **4.4.1 Substrat FTO**

Lapisan tipis  $\text{TiO}_2$  yang ditumbuhkan pada substrat FTO diuji respon sensor gas. Lapisan tipis yang diuji mempunyai pH 5,5 dan pH 9,5.

Respon dinamik pada pH 5,5, ditunjukkan gambar 4.16. Nilai resistansi yang tidak stabil ketika diberikan udara dari kompresor. Pada waktu ke 5500 detik kompresor dimatikan, dan hasil respon menunjukkan nilai resistansi yang turun. Ketika diberikan gas methanol nilai resistansi menunjukkan di sekitar 245 ohm dan naik kembali ketika diberikan udara.



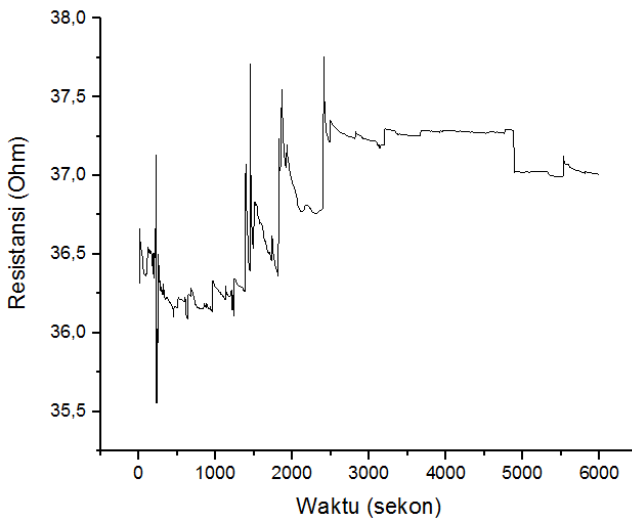
**Gambar 4.16** Respon dinamik lapisan tipis  $\text{TiO}_2$  dengan pH 5,5 pada suhu ruang



**Gambar 4.17** Respon dinamik lapisan tipis  $\text{TiO}_2$  dengan pH 5,5 pada suhu 100°C

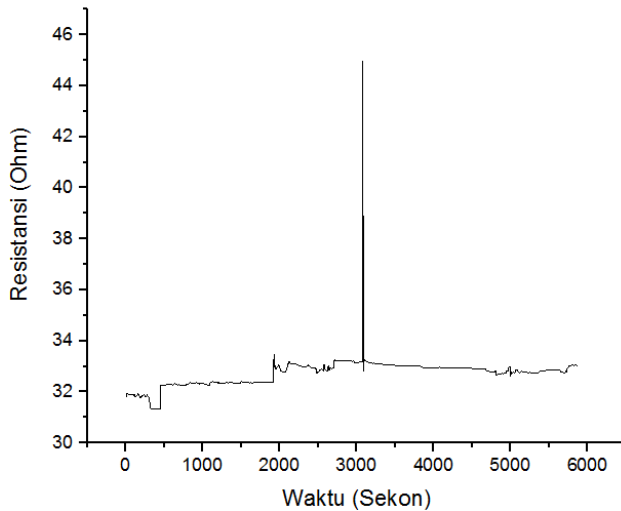
Gambar 4.17 menunjukkan respon dinamik pH 5,5 pada suhu 100°C. Pada waktu 1000 hingga 2500 sekon ketika lapisan tipis diberikan udara dari kompresor memiliki nilai resistansi yang cukup stabil. Namun ketika diberikan gas methanol nilai resistansi semakin naik dan turun kembali ketika diberikan udara lagi.

Lapisan tipis lain yang diuji adalah lapisan tipis yang memiliki pH 9,5. Lapisan tipis diuji pada suhu ruang terlebih dahulu untuk mengetahui apakah sampel memiliki respon pada suhu ruang. Kemudian dilakukan uji pada suhu 100°C. Respon dinamik lapisan tipis TiO<sub>2</sub> dengan substrat FTO dapat dilihat pada gambar 4.18 dan 4.19.



**Gambar 4.18** Respon dinamik lapisan tipis TiO<sub>2</sub> dengan pH 9,5 pada suhu ruang

Respon dinamik pH 9,5 pada suhu ruang ditunjukkan gambar 4.18, grafik tersebut memiliki nilai resistansi stabil setelah 3500 detik, kemudian nilai resistansi turun karena udara yang diberikan diganti dengan gas methanol.



**Gambar 4.19** Respon dinamik lapisan tipis  $\text{TiO}_2$  dengan pH 9,5 pada suhu  $100^\circ\text{C}$

Respon terhadap waktu pH 9,5 pada suhu kerja  $100^\circ\text{C}$  ditunjukkan pada gambar 4.19. Nilai resistansi tidak stabil dan memiliki resistansi tinggi pada 3000 sekon.

#### 4.4.2 Substrat alumina

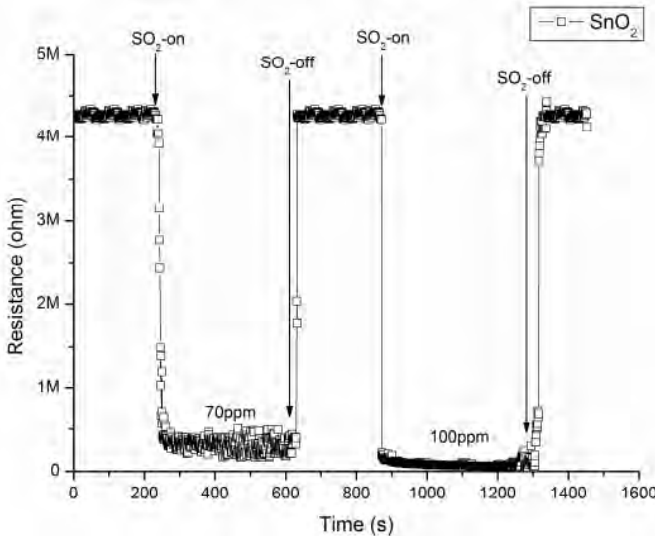
Pada sampel lapisan tipis menggunakan substrat alumina memiliki nilai resistansi yang besar sehingga terjadi overload. Untuk masing-masing pH dapat dilihat pada tabel 4.4 berikut.

**Tabel 4.4** Hasil Resistansi Substrat Alumina

pH	Suhu ruang	$100^\circ\text{C}$	$200^\circ\text{C}$
3,5	Overload	Overload	Overload
5,5	Overload	Overload	Overload
9,5	Overload	Overload	Overload

Hasil resistansi yang besar tersebut menunjukkan  $\text{TiO}_2$  tidak menempel pada substrat alumina. Nilai resistansi yang terdeteksi

merupakan resistansi dari alumina. Untuk hasil uji substrat alumina secara keseluruhan dapat dilihat pada lampiran.



**Gambar 4.20** Respon  $\text{SnO}_2$  sebagai material pembentuk sensor gas  $\text{SO}_2$  (Brian, 2013)

Gambar 4.20 menunjukkan respon dinamik material  $\text{SnO}_2$  terhadap gas  $\text{SO}_2$  setelah memiliki nilai resistansi stabil kemudian diberikan gas  $\text{SO}_2$ , nilai resistansi signifikan menurun dan naik kembali ketika pemberian gas  $\text{SO}_2$  dihentikan. Hal ini menunjukkan bahwa sampel memiliki desorpsi yang bagus setelah  $\text{SO}_2$  berhenti dialirkan pada sampel. Respon waktu material tersebut juga bagus karena mampu merespon kurang dari 2 menit (Brian, 2013).

Hasil uji sensor gas menunjukkan bahwa  $\text{TiO}_2$  yang ditumbuhkan pada substrat FTO tidak cocok untuk diaplikasikan sebagai material pembentuk sensor gas karena FTO memiliki sifat konduktif. Gambar 4.16 yang memiliki resistansi tidak stabil dan ketika dialirkan gas methanol resistansi turun dan naik kembali ketika gas methanol berhenti dialirkan. Namun grafik ini bukan termasuk respon karena nilai resistansi yang turun tidak lebih dari

nilai *noise* yang muncul. Gambar 4.17 menunjukkan nilai resistansi yang naik ketika diberikan gas methanol. Gambar 4.18 menunjukkan respon yang sama dengan gambar 4.16 yaitu grafik yang muncul tidak dikategorikan sebagai respon. Gambar 4.19 menunjukkan resistansi yang naik ketika diberikan gas methanol. Hasil ini tidak sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Brian Yulianto. Pada penelitian tersebut ketika gas dialirkan nilai resistansi turun dan nilai resistansi kembali naik ketika gas berhenti dialirkan (Brian, 2013). Untuk pengujian terhadap substrat alumina didapatkan nilai *overload* karena nilai yang terdeteksi adalah resistansi dari alumina yang besar. Ini menunjukkan bahwa langkah-langkah dalam metode *chemical bath deposition* yang dilakukan belum berhasil menumbuhkan  $\text{TiO}_2$  pada substrat alumina. Hal ini bisa terjadi karena alumina belum sepenuhnya bersih dan tidak dilakukan proses *seeding* terlebih dahulu terhadap substrat. Penumbuhan  $\text{TiO}_2$  telah berhasil dilakukan dengan metode *chemical bath deposition* dengan melakukan *seeding*  $\text{TiO}_2$  pada substrat Si. Kemudian substrat tersebut direndam pada larutan  $\text{TiCl}_3$  yang ditambahkan urea (Selman, 2014).



**“Halaman ini memang dikosongkan”**

## LAMPIRAN A (JCPDS 00-021-1272)

### TiO<sub>2</sub> Fase Anatase

#### **Name and formula**

Reference code:	00-021-1272
Mineral name:	Anatase, syn
Compound name:	Titanium Oxide
Empirical formula:	O <sub>2</sub> Ti
Chemical formula:	TiO <sub>2</sub>

#### **Crystallographic parameters**

Crystal system:	Tetragonal
Space group:	I41/amd
Space group number:	141
a (Å):	3.7852
b (Å):	3.7852
c (Å):	9.5139
Alpha (°):	90.0000
Beta (°):	90.0000
Gamma (°):	90.0000
Calculated density (g/cm <sup>3</sup> ):	3.89
Volume of cell (10 <sup>6</sup> pm <sup>3</sup> ):	136.31
Z:	4.00
RIR:	3.30

#### **Subfiles and quality**

Subfiles:	Alloy, metal or intermetallic
	Common Phase
	Educational pattern
	Excipient
	Forensic
	Inorganic
	Mineral
	NBS pattern
	Pharmaceutical
	Pigment/Dye

Quality: Star (S)

### **Comments**

Color: Colorless  
Creation Date: 1/1/1970  
Modification Date: 1/11/2011  
Additional Patterns: See PDF 01-071-1166.  
Validated by calculated pattern  
Color: Colorless  
General Comments: Pattern reviewed by Holzer, J.,  
McCarthy, G., North Dakota  
State Univ, Fargo, North  
Dakota, USA, ICDD Grant-in-  
Aid (1990). Agrees well with  
experimental and calculated  
patterns  
Polymorphism/Phase Transition: Anatase and another  
polymorph, brookite  
(orthorhombic), are converted  
to rutile (tetragonal) by heating  
above 700 C  
Sample Source or Locality: Sample obtained from National  
Lead Co., South Amboy, New  
Jersey, USA  
Temperature of Data Collection: Pattern taken at 298 K  
Unit Cell Data Source: Powder Diffraction.

### **References**

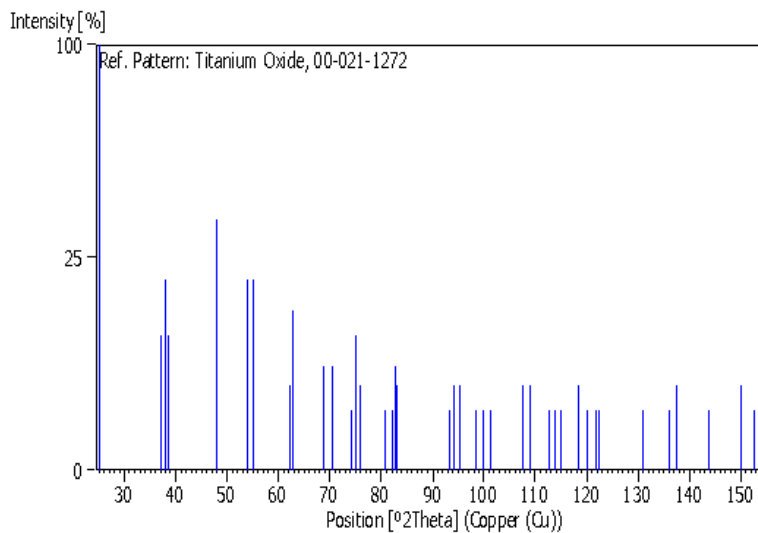
Primary reference: *Natl. Bur. Stand. (U. S. )  
Monogr. 25, 7, 82, (1969)*

**Peak list**

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
1	1	0	1	3.52000	25.281	100.0
2	1	0	3	2.43100	36.947	10.0
3	0	0	4	2.37800	37.801	20.0
4	1	1	2	2.33200	38.576	10.0
5	2	0	0	1.89200	48.050	35.0
6	1	0	5	1.69990	53.891	20.0
7	2	1	1	1.66650	55.062	20.0
8	2	1	3	1.49300	62.121	4.0
9	2	0	4	1.48080	62.690	14.0
10	1	1	6	1.36410	68.762	6.0
11	2	2	0	1.33780	70.311	6.0
12	1	0	7	1.27950	74.031	2.0
13	2	1	5	1.26490	75.032	10.0
14	3	0	1	1.25090	76.020	4.0
15	0	0	8	1.18940	80.727	2.0
16	3	0	3	1.17250	82.139	2.0
17	2	2	4	1.16640	82.662	6.0
18	3	1	2	1.16080	83.149	4.0
19	2	1	7	1.06000	93.221	2.0
20	3	0	5	1.05170	94.182	4.0
21	3	2	1	1.04360	95.143	4.0
22	1	0	9	1.01820	98.319	2.0
23	2	0	8	1.00700	99.804	2.0
24	3	2	3	0.99670	101.221	2.0
25	3	1	6	0.95550	107.448	4.0
26	4	0	0	0.94640	108.963	4.0
27	3	0	7	0.92460	112.841	2.0
28	3	2	5	0.91920	113.861	2.0
29	4	1	1	0.91380	114.909	2.0
30	2	1	9	0.89660	118.439	4.0
31	2	2	8	0.88900	120.104	2.0
32	4	1	3	0.88190	121.725	2.0
33	4	0	4	0.87930	122.336	2.0
34	4	2	0	0.84640	131.036	2.0

35	3	2	7	0.83080	135.998	2.0
36	4	1	5	0.82680	137.391	4.0
37	3	0	9	0.81020	143.888	2.0
38	4	2	4	0.79740	150.039	4.0
39	0	0	12	0.79280	152.634	2.0

### **Stick Pattern**



**LAMPIRAN B (JCPDS 00-021-1276)**  
**TiO<sub>2</sub> Fase Rutile**

**Name and formula**

Reference code:	00-021-1276
Mineral name:	Rutile, syn
Compound name:	Titanium Oxide
Common name:	titania
Empirical formula:	O <sub>2</sub> Ti
Chemical formula:	TiO <sub>2</sub>

**Crystallographic parameters**

Crystal system:	Tetragonal
Space group:	P4 <sub>2</sub> /mm
Space group number:	136
a (Å):	4.5933
b (Å):	4.5933
c (Å):	2.9592
Alpha (°):	90.0000
Beta (°):	90.0000
Gamma (°):	90.0000
Calculated density (g/cm <sup>3</sup> ):	4.25
Measured density (g/cm <sup>3</sup> ):	4.23
Volume of cell (10 <sup>6</sup> pm <sup>3</sup> ):	62.43
Z:	2.00
RIR:	3.40

**Subfiles and quality**

Subfiles:	Alloy, metal or intermetallic Common Phase Educational pattern Excipient Forensic Inorganic Mineral NBS pattern
-----------	--

Quality:	Pharmaceutical Pigment/Dye Star (S)
<b><u>Comments</u></b>	
Color:	White
Creation Date:	1/1/1970
Modification Date:	1/11/2011
Additional Patterns:	Validated by calculated pattern
Analysis:	No impurity over 0.001%
Color:	White
General Comments:	Pattern reviewed by Syvinski, W., McCarthy, G., North Dakota State Univ, Fargo, North Dakota, USA, ICDD Grant-in-Aid (1990). Agrees well with experimental and calculated patterns. Additional weak reflections (indicated by brackets) were observed. Naturally occurring material may be reddish brown
Optical Data Specimen location:	Optical data on specimen from Dana's System of Mineralogy, 7th Ed., I 555
Polymorphism/Phase Transition:	Two other polymorphs, anatase (tetragonal) and brookite (orthorhombic), converted to rutile on heating above 700 C
Reflectance:	Opaque mineral optical data on specimen from Sweden: R3R%=20.3, Disp.=Std.

Sample Source or Locality: Sample obtained from National Lead Co., South Amboy, New Jersey, USA. Temperature of Data Collection: Pattern taken at 298 K. Vickers Hardness Number: VHN100=1132-1187. Unit Cell Data Source: Powder Diffraction.

### **References**

Primary reference: *Natl. Bur. Stand. (U. S. ) Monogr. 25, 7, 83, (1969)*  
 Optical data: *Dana's System of Mineralogy, 7th Ed., I, 575*

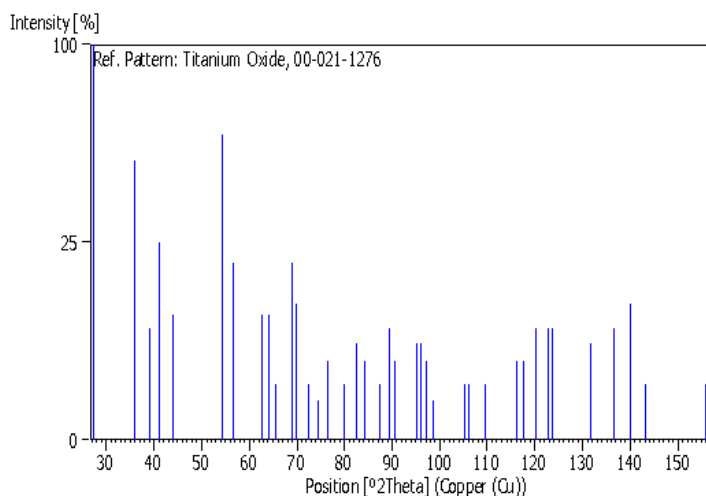
### **Peak list**

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
1	1	1	0	3.24700	27.447	100.0
2	1	0	1	2.48700	36.086	50.0
3	2	0	0	2.29700	39.188	8.0
4	1	1	1	2.18800	41.226	25.0
5	2	1	0	2.05400	44.052	10.0
6	2	1	1	1.68740	54.323	60.0
7	2	2	0	1.62370	56.642	20.0
8	0	0	2	1.47970	62.742	10.0
9	3	1	0	1.45280	64.040	10.0
10	2	2	1	1.42430	65.480	2.0
11	3	0	1	1.35980	69.010	20.0
12	1	1	2	1.34650	69.790	12.0
13	3	1	1	1.30410	72.410	2.0
14	3	2	0	1.27390	74.411	1.0
15	2	0	2	1.24410	76.510	4.0
16	2	1	2	1.20060	79.822	2.0
17	3	2	1	1.17020	82.335	6.0
18	4	0	0	1.14830	84.260	4.0
19	4	1	0	1.11430	87.464	2.0



20	2	2	2	1.09360	89.557	8.0
21	3	3	0	1.08270	90.708	4.0
22	4	1	1	1.04250	95.275	6.0
23	3	1	2	1.03640	96.017	6.0
24	4	2	0	1.02710	97.177	4.0
25	3	3	1	1.01670	98.514	1.0
26	4	2	1	0.97030	105.099	2.0
27	1	0	3	0.96440	106.019	2.0
28	1	1	3	0.94380	109.406	2.0
29	4	0	2	0.90720	116.227	4.0
30	5	1	0	0.90090	117.527	4.0
31	2	1	3	0.88920	120.059	8.0
32	4	3	1	0.87740	122.788	8.0
33	3	3	2	0.87380	123.660	8.0
34	4	2	2	0.84370	131.847	6.0
35	3	0	3	0.82920	136.549	8.0
36	5	2	1	0.81960	140.052	12.0
37	4	4	0	0.81200	143.116	2.0
38	5	3	0	0.78770	155.870	2.0

### **Stick Pattern**



## LAMPIRAN C (IUPAC Classification of Adsorption Isotherms)

- Classification of Adsorption Isotherms**

The majority of physisorption isotherms may be grouped into the six types shown in Figure 1. In most cases at sufficiently low surface coverage the isotherm reduces to a linear form (i.e.  $n^a \propto p$ ), which is often referred to as the Henry's Law region (see Note h).

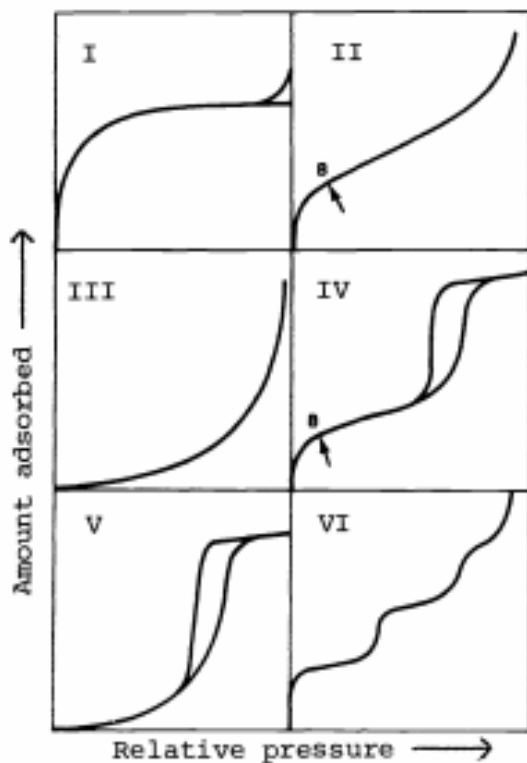


Figure 1. Types of physisorption isotherms.

The reversible *Type I* isotherm (see Note i) is concave to the  $p/p^\circ$  axis and  $n^a$  approaches a limiting value as  $p/p^\circ \rightarrow 1$ . Type I isotherms are given by microporous solids having relatively small external surfaces (e.g. activated carbons, molecular sieve zeolites and certain porous oxides), the limiting uptake being governed by the accessible micropore volume rather than by the internal surface area.

The reversible *Type II* isotherm is the normal form of isotherm obtained with a non-porous or macroporous adsorbent. The Type II isotherm represents unrestricted monolayer-multilayer adsorption. Point B, the beginning of the almost linear middle section of the isotherm, is often taken to indicate the stage at which monolayer coverage is complete and multilayer adsorption about to begin.

The reversible *Type III* isotherm is convex to the  $p/p^\circ$  axis over its entire range and therefore does not exhibit a Point B. Isotherms of this type are not common; the best known examples are found with water vapour adsorption on pure non-porous carbons. However, there are a number of systems (e.g. nitrogen on polyethylene) which give isotherms with gradual curvature and an indistinct Point B. In such cases, the adsorbent-adsorbate interaction is weak as compared with the adsorbate-adsorbate interactions.

Characteristic features of the *Type IV* isotherm are its hysteresis loop, which is associated with capillary condensation taking place in mesopores, and the limiting uptake over a range of high  $p/p^\circ$ . The initial part of the Type IV isotherm is attributed to monolayer-multilayer adsorption since it follows the same path as the corresponding part of a Type II isotherm obtained with the given adsorbate on the same surface area of the adsorbent in a non-porous form. Type IV isotherms are given by many mesoporous industrial adsorbents.

The *Type V* isotherm is uncommon; it is related to the Type III isotherm in that the adsorbent-adsorbate interaction is weak, but is obtained with certain porous adsorbents.

The *Type VI* isotherm represents stepwise multilayer adsorption on a uniform non-porous surface. The step-height now represents the monolayer capacity for each adsorbed layer and, in the simplest case, remains nearly constant for two or three adsorbed layers. Amongst the best examples of Type VI isotherms are those obtained with argon or krypton on graphitized carbon blacks at liquid nitrogen temperature.

- **Adsorption Hysteresis**

Hysteresis appearing in the multilayer range of physisorption isotherms is usually associated with capillary condensation in mesopore structures. Such hysteresis loops may exhibit a wide variety of shapes. Two extreme types are shown as H1 (formerly Type A) and H4 in Figure 2. In the former the two branches are almost vertical and nearly parallel over an appreciable range of gas uptake, whereas in the latter they remain nearly horizontal and parallel over a wide range of  $p/p^\circ$ . In certain respects Types H2 and H3 (formerly termed Types E and B, respectively) may be regarded as intermediate between these two extremes. A feature common to many hysteresis loops is that the steep region of the desorption branch leading to the lower closure point occurs (for a given adsorptive at a given temperature) at a relative pressure which is almost independent of the nature of the porous adsorbent (e.g. for nitrogen at its boiling point at  $p/p^\circ \sim 0.42$  and for benzene at 25°C at  $p/p^\circ \sim 0.28$ ).

The shapes of hysteresis loops have often been identified with specific pore structures. Thus, *Type H1* is often associated with porous materials known, from other evidence, to consist of agglomerates or compacts of approximately uniform spheres in fairly regular array, and hence to have narrow distributions of pore size.

Some corpuscular systems (e.g. silica gels) tend to give *Type H2* loops, but in these cases the distribution of pore size and shape is not well-defined. Indeed, the H2 loop is especially difficult to interpret: in the past it was attributed to a difference in mechanism between condensation and evaporation processes

occurring in pores with narrow necks and wide bodies (often referred to as 'ink bottle' pores), but it is now recognised that this provides an over-simplified picture.

The *Type H3* loop, which does not exhibit any limiting adsorption at high  $p/p^\circ$ , is observed with aggregates of plate-like particles giving rise to slit-shaped pores.

Similarly, the *Type H4* loop appears to be associated with narrow slit-like pores, but in this case the Type I isotherm character is indicative of microporosity.

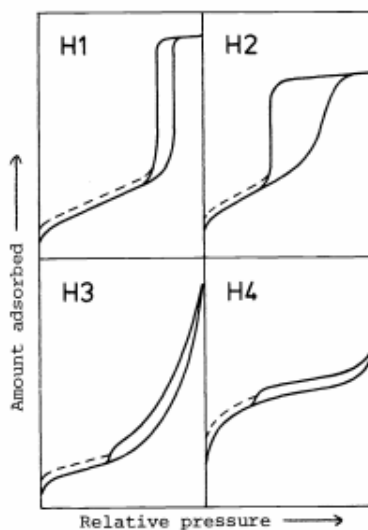


Figure 2. Types of hysteresis loops.

With many systems, especially those containing micropores, low pressure hysteresis (indicated by the dashed lines in Figure 2), may be observed extending to the lowest attainable pressures. Removal of the residual adsorbed material is then possible only if the adsorbent is outgassed at higher temperatures. This phenomenon is thought to be associated with the swelling of a non-rigid porous structure or with the irreversible uptake of molecules in pores (or through pore entrances) of about the same width as that of the adsorbate molecule.

## LAMPIRAN D

### HASIL UJI SENSOR GAS SUBSTRAT FTO

**Tabel D.1 pH 5,5 Suhu Ruang**

Waktu (sekon)	Resistansi (Ohm)	Waktu (sekon)	Resistansi (Ohm)	Waktu (sekon)	Resistansi (Ohm)	Waktu (sekon)	Resistansi (Ohm)
5	514,6933	130	441,7876	255	411,5351	380	351,2272
10	524,7220	135	460,1297	260	400,5049	385	356,5986
15	518,5708	140	386,0396	265	385,5061	390	354,8193
20	518,5297	145	364,5060	270	371,7148	395	353,6411
25	518,9292	150	395,4321	275	363,9632	400	359,9397
30	527,7579	155	424,0523	280	373,7628	405	354,9442
35	521,3949	160	511,0362	285	371,2986	410	358,9132
40	488,7872	165	701,4356	290	374,8076	415	365,0053
45	477,4685	170	675,9571	295	371,3462	420	361,6243
50	473,7735	175	644,9276	300	364,3878	425	364,6439
55	502,4601	180	517,5889	305	357,9402	430	365,7799
60	502,8626	185	519,6556	310	344,8860	435	357,4773
65	480,8393	190	518,0344	315	354,2632	440	360,5648
70	472,9849	195	508,2465	320	354,0608	445	364,7976
75	510,8858	200	521,2204	325	355,8586	450	369,1168
80	488,0472	205	542,1624	330	352,5830	455	389,8631
85	495,8476	210	528,6917	335	352,9782	460	338,1708
90	505,3629	215	534,9166	340	357,1936	465	341,3217
95	498,8450	220	535,0188	345	356,3360	470	332,9568
100	491,9644	225	536,0991	350	356,1349	475	341,9847
105	503,7683	230	554,5094	355	356,3948	480	332,5827
110	513,9536	235	580,5456	360	349,7003	485	343,9392
115	530,3697	240	572,8726	365	354,8724	490	356,1179
120	529,7654	245	559,0043	370	351,9244	495	358,3894
125	430,2770	250	578,1949	375	355,5808	500	356,6492

**Tabel D.1 (lanjutan)**

Waktu (sekon)	Resistansi (Ohm)	Waktu (sekon)	Resistansi (Ohm)	Waktu (sekon)	Resistansi (Ohm)	Waktu (sekon)	Resistansi (Ohm)
505	371,4845	645	410,0221	785	494,0082	925	303,9548
510	388,0258	650	406,7811	790	458,4260	930	311,1681
515	414,7416	655	409,5743	795	635,3795	935	318,5346
520	390,2154	660	414,4828	800	612,0379	940	317,0259
525	394,6625	665	417,3313	805	535,3159	945	311,8018
530	412,2226	670	411,5532	810	511,4804	950	304,6377
535	427,6856	675	402,3099	815	497,7572	955	302,6461
540	423,9165	680	428,5775	820	491,9127	960	301,1636
545	435,6993	685	424,5100	825	504,3705	965	306,9629
550	395,9180	690	422,1415	830	517,1651	970	312,1688
555	398,4573	695	441,7143	835	475,2778	975	306,9185
560	411,7605	700	474,6073	840	455,8784	980	319,6391
565	412,9390	705	481,3449	845	452,6321	985	313,0562
570	415,4903	710	415,9440	850	467,6802	990	318,1145
575	433,6380	715	413,0489	855	455,9718	995	317,0857
580	454,1297	720	407,8592	860	469,4657	1000	309,3681
585	454,3042	725	401,2875	865	470,1844	1005	337,7755
590	444,4802	730	411,5952	870	463,1869	1010	339,2654
595	449,8968	735	412,2216	875	484,8887	1015	337,8091
600	439,0512	740	414,1590	880	453,5863	1020	339,7553
605	441,7461	745	414,9960	885	450,1611	1025	332,9833
610	490,6300	750	417,3681	890	311,0481	1030	350,5069
615	485,4535	755	417,6491	895	309,1260	1035	349,1869
620	503,6666	760	423,6543	900	310,6497	1040	343,8748
625	430,7490	765	440,0631	905	303,2326	1045	339,4841
630	414,2804	770	459,2800	910	310,9594	1050	346,1269
635	415,2536	775	472,7777	915	305,0081	1055	355,2903
640	416,1966	780	472,8665	920	304,9505	1060	351,1333

**Tabel D.1 (lanjutan)**

Waktu (sekon)	Resistansi (Ohm)	Waktu (sekon)	Resistansi (Ohm)	Waktu (sekon)	Resistansi (Ohm)	Waktu (sekon)	Resistansi (Ohm)
1065	342,6972	1205	340,9762	1345	303,4976	1485	396,5294
1070	360,0968	1210	350,1136	1350	293,4321	1490	410,4951
1075	367,2528	1215	366,8734	1355	292,7373	1495	413,5659
1080	369,8378	1220	390,6663	1360	283,7089	1500	840,9868
1085	375,9764	1225	357,2459	1365	282,5419	1505	639,1471
1090	386,2389	1230	368,0917	1370	276,3730	1510	579,2382
1095	380,3257	1235	378,7594	1375	279,6205	1515	457,6260
1100	367,5933	1240	385,9802	1380	293,0844	1520	418,8257
1105	366,7361	1245	389,5692	1385	292,5558	1525	565,7510
1110	365,3847	1250	407,9704	1390	292,9181	1530	296,1478
1115	376,4347	1255	354,4474	1395	295,2211	1535	293,4932
1120	351,8424	1260	345,1253	1400	296,9862	1540	438,3172
1125	354,0248	1265	347,5331	1405	291,1907	1545	459,2168
1130	346,7740	1270	331,3616	1410	298,3351	1550	481,8861
1135	347,2736	1275	342,8095	1415	301,4598	1555	499,9136
1140	350,3471	1280	323,6119	1420	316,6649	1560	447,5467
1145	348,0242	1285	322,4445	1425	317,6607	1565	430,2412
1150	347,5312	1290	303,5463	1430	299,9078	1570	453,3106
1155	330,5339	1295	321,0209	1435	317,7677	1575	482,3868
1160	336,1839	1300	312,9417	1440	330,9283	1580	506,3679
1165	331,1130	1305	302,8304	1445	330,7084	1585	374,7788
1170	332,9433	1310	293,9812	1450	367,3470	1590	350,3973
1175	332,2268	1315	299,5467	1455	401,6543	1595	350,3906
1180	319,0336	1320	298,4117	1460	453,1624	1600	351,0869
1185	324,1678	1325	299,9550	1465	447,1756	1605	336,9046
1190	338,3684	1330	299,5545	1470	440,7443	1610	339,6541
1195	337,1843	1335	301,4039	1475	398,0761	1615	334,4147
1200	346,4040	1340	287,3078	1480	388,5421	1620	331,7590





**Tabel D.1 (lanjutan)**

Waktu (sekon)	Resistansi (Ohm)	Waktu (sekon)	Resistansi (Ohm)	Waktu (sekon)	Resistansi (Ohm)	Waktu (sekon)	Resistansi (Ohm)
1625	352,7084	1765	390,2258	1905	348,5885	2045	413,6373
1630	357,9250	1770	384,0466	1910	347,5286	2050	411,3387
1635	340,7696	1775	380,5669	1915	336,2457	2055	422,0906
1640	352,7436	1780	389,1609	1920	345,6328	2060	315,2473
1645	354,6681	1785	387,9462	1925	347,7158	2065	303,3882
1650	348,2385	1790	479,2114	1930	344,7640	2070	309,1840
1655	335,1388	1795	467,4026	1935	347,6577	2075	319,5111
1660	339,1667	1800	453,3692	1940	342,9774	2080	316,5098
1665	365,9828	1805	443,0289	1945	445,7850	2085	309,2500
1670	365,8799	1810	439,2461	1950	429,1919	2090	315,1067
1675	368,3868	1815	436,7756	1955	403,5160	2095	317,3681
1680	367,7590	1820	358,7015	1960	393,4562	2100	308,5740
1685	368,1533	1825	354,1293	1965	382,1828	2105	307,2060
1690	357,4719	1830	360,9685	1970	373,2619	2110	312,9366
1695	361,3439	1835	343,2821	1975	369,8982	2115	314,8009
1700	356,4394	1840	347,4357	1980	369,4864	2120	315,8147
1705	380,4984	1845	344,0399	1985	365,9931	2125	314,4769
1710	366,2384	1850	340,8176	1990	363,3765	2130	313,7052
1715	372,7204	1855	351,9430	1995	367,4991	2135	316,6317
1720	379,7103	1860	350,8296	2000	374,1900	2140	321,4326
1725	376,7545	1865	356,4889	2005	369,8920	2145	307,8619
1730	367,8614	1870	354,0502	2010	383,5749	2150	316,8172
1735	365,5337	1875	350,0693	2015	381,8772	2155	315,3107
1740	369,5295	1880	344,8647	2020	382,7917	2160	304,4283
1745	416,0859	1885	351,5983	2025	388,5324	2165	325,6568
1750	406,5093	1890	346,3466	2030	393,8966	2170	308,4925
1755	404,7754	1895	351,4348	2035	391,1129	2175	328,8952
1760	409,6314	1900	345,5108	2040	413,3827	2180	323,5102



**Tabel D.1 (lanjutan)**

Waktu (sekon)	Resistansi (Ohm)	Waktu (sekon)	Resistansi (Ohm)	Waktu (sekon)	Resistansi (Ohm)	Waktu (sekon)	Resistansi (Ohm)
2185	328,2916	2320	303,3884	2455	329,3674	2590	258,8699
2190	324,4276	2325	312,2564	2460	324,0885	2595	263,3485
2195	321,1332	2330	297,0914	2465	477,6757	2600	262,8987
2200	328,9392	2335	309,7998	2470	488,7012	2605	262,7749
2205	329,4244	2340	314,8213	2475	468,0450	2610	263,8366
2210	334,4817	2345	302,2674	2480	411,1919	2615	256,9140
2215	332,8829	2350	301,6966	2485	402,5544	2620	267,0575
2220	335,0267	2355	310,6451	2490	404,0421	2625	260,2307
2225	342,7340	2360	313,0457	2495	459,9487	2630	261,0083
2230	351,3939	2365	316,7933	2500	447,7606	2635	262,6335
2235	355,9480	2370	319,8881	2505	445,4396	2640	265,6027
2240	290,2130	2375	321,5270	2510	443,8292	2645	257,1573
2245	287,0500	2380	323,2016	2515	431,4950	2650	261,0690
2250	294,1247	2385	315,0114	2520	441,8642	2655	264,9513
2255	298,1796	2390	320,8196	2525	434,2061	2660	256,0563
2260	294,1669	2395	315,7785	2530	435,7852	2665	261,6196
2265	294,9058	2400	325,6738	2535	449,3118	2670	260,9202
2270	299,4924	2405	321,5657	2540	429,9777	2675	264,0360
2275	291,7735	2410	337,7219	2545	440,5345	2680	262,4794
2280	299,0706	2415	342,6189	2550	455,2014	2685	260,2452
2285	297,2061	2420	341,9251	2555	453,1399	2690	265,8550
2290	298,9262	2425	326,4073	2560	466,0656	2695	265,1108
2295	293,0779	2430	327,2450	2565	250,6414	2700	264,1465
2300	297,1464	2435	341,5524	2570	243,6024	2705	263,7261
2305	299,3005	2440	336,6015	2575	267,2272	2710	257,6821
2310	296,0746	2445	329,9617	2580	263,3419	2715	253,6081
2315	300,8584	2450	326,5537	2585	266,5509	2720	265,7982



**Tabel D.1 (lanjutan)**

Waktu (sekon)	Resistansi (Ohm)	Waktu (sekon)	Resistansi (Ohm)	Waktu (sekon)	Resistansi (Ohm)	Waktu (sekon)	Resistansi (Ohm)
2725	261,0051	2860	262,5831	2995	255,9779	3130	511,3057
2730	261,0320	2865	262,1012	3000	261,9333	3135	502,6942
2735	262,5963	2870	259,5944	3005	259,6960	3140	499,1723
2740	258,5343	2875	259,1433	3010	258,5740	3145	504,1228
2745	266,5591	2880	259,3291	3015	258,6231	3150	503,5134
2750	259,4006	2885	259,5173	3020	257,0130	3155	497,5303
2755	263,1305	2890	261,1852	3025	256,3961	3160	416,6420
2760	263,9373	2895	261,0041	3030	257,9872	3165	411,8844
2765	255,3364	2900	262,8813	3035	261,9996	3170	413,2351
2770	265,7295	2905	263,0371	3040	259,3639	3175	415,0231
2775	252,0214	2910	260,7226	3045	260,8043	3180	416,5603
2780	262,2883	2915	258,0034	3050	259,3508	3185	416,6831
2785	258,8363	2920	262,7882	3055	256,2182	3190	437,5351
2790	259,5385	2925	262,4180	3060	262,2950	3195	445,1759
2795	258,6852	2930	259,4461	3065	258,3047	3200	440,5013
2800	255,2081	2935	258,4316	3070	259,1902	3205	445,4671
2805	261,1352	2940	261,8853	3075	260,0775	3210	440,8506
2810	264,7976	2945	263,0950	3080	257,8791	3215	439,4779
2815	258,4448	2950	262,2718	3085	259,5755	3220	440,2569
2820	257,8261	2955	262,2622	3090	253,8566	3225	443,8529
2825	260,3450	2960	262,7871	3095	256,9631	3230	441,3608
2830	259,8727	2965	262,4648	3100	256,8306	3235	442,9155
2835	263,6991	2970	262,1187	3105	258,5241	3240	444,1909
2840	261,4492	2975	261,4422	3110	257,8501	3245	439,8081
2845	262,8325	2980	261,7704	3115	259,1570	3250	438,8785
2850	255,7708	2985	260,9597	3120	259,8964	3255	440,1647
2855	257,5076	2990	262,2765	3125	508,0585	3260	440,6737



**Tabel D.1 (lanjutan)**

Waktu (sekon)	Resistansi (Ohm)
3265	435,4506
3270	442,7054
3275	435,3365
3280	441,3980
3285	437,7151
3290	441,5924
3295	438,5002

**Tabel D.2 pH 5,5 Suhu 100°C**

Waktu (sekon)	Resistansi (Ohm)	Waktu (sekon)	Resistansi (Ohm)	Waktu (sekon)	Resistansi (Ohm)	Waktu (sekon)	Resistansi (Ohm)
5	115,7008	95	115,7028	185	115,5342	275	115,4828
10	115,7106	100	115,7036	190	115,5101	280	115,4837
15	115,6949	105	115,6900	195	115,4873	285	115,4869
20	115,6977	110	115,6710	200	115,4989	290	115,4722
25	115,6788	115	115,6521	205	115,4995	295	115,4546
30	115,6906	120	115,7039	210	115,5031	300	115,4108
35	115,6948	125	115,6807	215	115,4771	305	115,3642
40	115,6843	130	115,6806	220	115,4182	310	115,3873
45	115,6754	135	115,6807	225	115,5708	315	115,4059
50	115,6903	140	115,6971	230	115,5372	320	115,4263
55	115,6998	145	115,6631	235	115,5566	325	115,4347
60	115,6731	150	115,6615	240	115,5240	330	115,4135
65	115,6843	155	115,6529	245	115,5101	335	115,3925
70	115,7165	160	115,6047	250	115,5060	340	115,3627
75	115,7168	165	115,6070	255	115,4842	345	115,3488
80	115,6984	170	115,5980	260	115,4838	350	115,3436
85	115,6941	175	115,5674	265	115,5025	355	115,3284
90	115,7030	180	115,5716	270	115,4848	360	115,3225





**Tabel D.2 (lanjutan)**

Waktu (sekon)	Resistansi (Ohm)	Waktu (sekon)	Resistansi (Ohm)	Waktu (sekon)	Resistansi (Ohm)	Waktu (sekon)	Resistansi (Ohm)
365	115,2938	500	115,2505	635	126,3207	770	124,8361
370	115,3135	505	115,2311	640	126,6099	775	124,7580
375	115,3282	510	115,2750	645	125,0709	780	124,7402
380	115,3341	515	115,2392	650	127,1275	785	124,7226
385	115,3135	520	115,2312	655	127,2684	790	124,6648
390	115,2960	525	115,2460	660	127,1012	795	124,6370
395	115,3035	530	115,2013	665	127,0659	800	124,6465
400	115,2942	535	115,1915	670	127,1240	805	124,5365
405	115,2890	540	115,1407	675	127,0146	810	124,4938
410	115,2591	545	123,2348	680	126,7386	815	124,4776
415	115,2865	550	122,1533	685	126,7635	820	124,4595
420	115,3051	555	121,9765	690	126,6436	825	124,4821
425	115,2695	560	121,9342	695	126,7632	830	124,4531
430	115,2783	565	121,7082	700	126,6226	835	124,4567
435	115,2630	570	121,6126	705	126,9250	840	124,4480
440	115,2632	575	121,1964	710	126,6921	845	124,8866
445	115,2418	580	121,1683	715	126,2224	850	125,0190
450	115,2619	585	127,2700	720	126,3089	855	124,9895
455	115,2717	590	126,3025	725	125,9604	860	124,9899
460	115,2502	595	126,2234	730	125,6748	865	125,0075
465	115,2550	600	126,0464	735	125,3934	870	125,0026
470	115,2578	605	126,1792	740	125,3439	875	125,1018
475	115,2439	610	126,4406	745	125,3788	880	125,1670
480	115,2359	615	126,4761	750	125,2434	885	125,1816
485	115,2327	620	127,0319	755	125,1698	890	125,2589
490	115,2488	625	126,2790	760	125,0442	895	125,2953
495	115,2421	630	126,2491	765	124,9943	900	124,6013



**Tabel D.2 (lanjutan)**

Waktu (sekon)	Resistansi (Ohm)	Waktu (sekon)	Resistansi (Ohm)	Waktu (sekon)	Resistansi (Ohm)	Waktu (sekon)	Resistansi (Ohm)
905	123,8980	1040	150,5879	1175	124,4815	1310	123,8195
910	124,2725	1045	149,8747	1180	124,4471	1315	123,7950
915	124,1994	1050	150,4642	1185	124,4601	1320	123,7769
920	124,1713	1055	149,4784	1190	124,5761	1325	123,7125
925	124,1688	1060	146,7713	1195	124,1879	1330	123,9524
930	124,1686	1065	145,3142	1200	124,1404	1335	123,9521
935	124,9475	1070	147,3280	1205	124,1430	1340	123,9404
940	125,1596	1075	135,1386	1210	124,1343	1345	123,9448
945	125,2271	1080	127,9132	1215	124,2015	1350	123,9200
950	125,2328	1085	125,9946	1220	124,1334	1355	123,9834
955	125,2099	1090	124,7259	1225	124,1194	1360	124,0168
960	125,2266	1095	124,5473	1230	124,1211	1365	123,9557
965	125,3020	1100	124,1393	1235	124,1115	1370	123,9128
970	125,3440	1105	124,0708	1240	124,0985	1375	123,9057
975	125,3697	1110	124,0410	1245	124,0872	1380	123,9174
980	125,3510	1115	124,0376	1250	124,0582	1385	123,8937
985	125,0651	1120	124,0592	1255	123,9319	1390	123,8616
990	124,6925	1125	124,0415	1260	123,8961	1395	123,8542
995	125,3216	1130	124,0598	1265	123,8480	1400	123,8561
1000	125,3736	1135	124,5680	1270	123,8013	1405	123,8360
1005	125,3922	1140	124,5399	1275	123,8069	1410	123,8217
1010	125,2672	1145	124,5335	1280	123,8167	1415	123,8154
1015	125,3071	1150	124,5639	1285	123,8136	1420	123,6796
1020	125,2696	1155	124,5323	1290	123,7772	1425	126,1213
1025	148,1720	1160	124,5419	1295	123,7748	1430	122,0048
1030	147,1550	1165	124,4740	1300	123,7868	1435	121,9820
1035	146,9068	1170	124,4954	1305	123,7687	1440	121,9702



**Tabel D.2 (lanjutan)**

Waktu (sekon)	Resistansi (Ohm)	Waktu (sekon)	Resistansi (Ohm)	Waktu (sekon)	Resistansi (Ohm)	Waktu (sekon)	Resistansi (Ohm)
1445	121,9472	1580	117,2305	1715	117,0162	1850	117,1672
1450	122,1168	1585	117,2254	1720	116,9923	1855	117,1661
1455	122,0672	1590	117,2231	1725	116,9946	1860	117,1339
1460	122,0542	1595	117,2214	1730	116,9927	1865	117,1151
1465	122,0374	1600	117,2117	1735	116,9853	1870	117,2215
1470	122,0482	1605	117,2171	1740	116,9797	1875	117,3004
1475	122,0283	1610	117,2219	1745	116,9816	1880	117,3099
1480	122,0697	1615	117,2375	1750	116,9845	1885	117,2464
1485	116,5375	1620	117,2399	1755	116,9707	1890	117,1902
1490	116,9971	1625	117,2300	1760	116,9812	1895	117,1875
1495	117,0288	1630	117,2225	1765	116,9808	1900	117,1836
1500	117,0850	1635	117,1823	1770	116,9751	1905	117,2066
1505	117,3026	1640	117,1736	1775	116,9691	1910	117,2347
1510	117,0161	1645	117,1745	1780	116,9839	1915	117,2421
1515	116,9947	1650	117,1739	1785	116,9814	1920	117,3106
1520	117,0669	1655	117,1907	1790	116,9790	1925	117,3780
1525	117,1980	1660	117,1965	1795	116,9788	1930	117,4776
1530	117,2753	1665	117,1864	1800	116,9743	1935	117,5188
1535	117,2587	1670	117,1933	1805	116,9745	1940	117,4990
1540	117,3100	1675	117,1987	1810	116,9791	1945	117,5033
1545	117,2992	1680	117,1766	1815	116,9830	1950	117,4886
1550	117,2967	1685	117,1687	1820	116,9778	1955	117,4900
1555	117,3009	1690	117,1607	1825	116,9843	1960	117,4825
1560	117,2678	1695	117,1004	1830	116,9828	1965	117,4690
1565	117,2388	1700	117,0701	1835	116,9923	1970	117,4827
1570	117,2263	1705	117,0425	1840	117,0123	1975	117,4997
1575	117,2319	1710	117,0319	1845	117,0514	1980	117,4973



**Tabel D.2 (lanjutan)**

Waktu (sekon)	Resistansi (Ohm)	Waktu (sekon)	Resistansi (Ohm)
1985	117,5188	2120	117,3423
1990	117,5129	2125	117,3385
1995	117,5139	2130	117,3433
2000	117,5058	2135	117,3423
2005	117,5045	2140	117,3568
2010	117,4987	2145	117,3549
2015	117,4870	2150	117,3636
2020	117,4893	2155	117,3616
2025	117,4737	2160	117,3786
2030	117,4603	2165	117,4076
2035	117,4521	2170	117,4299
2040	117,4304	2175	117,4470
2045	117,4223	2180	117,4484
2050	117,4018	2185	117,4654
2055	117,3916	2190	117,4159
2060	117,3880	2195	117,4623
2065	117,3793	2200	117,6509
2070	117,3510	2205	119,4652
2075	117,3430		
2080	117,3338		
2085	117,3445		
2090	117,3426		
2095	117,3470		
2100	117,3428		
2105	117,3351		
2110	117,3376		
2115	117,3396		



**Tabel D.3 pH 9,5 Suhu Ruang**

Waktu (sekon)	Resistansi (Ohm)	Waktu (sekon)	Resistansi (Ohm)	Waktu (sekon)	Resistansi (Ohm)	Waktu (sekon)	Resistansi (Ohm)
5	36,4894	140	37,1408	275	36,9160	410	36,8081
10	36,4750	145	37,1157	280	36,9114	415	36,8125
15	36,4561	150	37,0889	285	36,8926	420	36,8099
20	36,4390	155	37,0734	290	36,8883	425	36,8136
25	36,4273	160	37,0610	295	36,8821	430	36,8128
30	36,4171	165	37,0524	300	36,8756	435	36,8153
35	36,4079	170	37,0486	305	36,8655	440	36,8145
40	36,4033	175	37,1994	310	36,8464	445	36,8127
45	36,3954	180	37,1326	315	36,8241	450	36,8109
50	36,3917	185	37,1237	320	36,8119	455	36,8103
55	36,3816	190	37,1155	325	36,8064	460	36,8046
60	36,3605	195	37,1023	330	36,7997	465	36,8002
65	36,5671	200	37,0804	335	36,7915	470	36,7962
70	37,2359	205	37,0542	340	36,7872	475	36,7929
75	37,1012	210	37,0343	345	36,7822	480	36,7910
80	37,0428	215	37,0234	350	36,7766	485	36,7892
85	37,0346	220	37,0103	355	36,7778	490	36,7845
90	37,0409	225	37,0003	360	36,7712	495	36,7818
95	37,0617	230	36,9902	365	36,7702	500	36,7730
100	37,1169	235	36,9790	370	36,7690	505	36,7692
105	37,4332	240	36,9695	375	36,7714	510	36,7678
110	37,5454	245	36,9610	380	36,7718	515	36,7645
115	37,3858	250	36,9514	385	36,7727	520	36,7635
120	37,3637	255	36,9382	390	36,7770	525	36,7634
125	37,3392	260	36,9337	395	36,7776	530	36,7608
130	37,2613	265	36,9305	400	36,7824	535	36,7587
135	37,1687	270	36,9214	405	36,7938	540	36,7589

**Tabel D.3 (lanjutan)**

Waktu (sekon)	Resistansi (Ohm)	Waktu (sekon)	Resistansi (Ohm)	Waktu (sekon)	Resistansi (Ohm)	Waktu (sekon)	Resistansi (Ohm)
545	36,7577	680	37,3241	815	37,3029	950	37,2573
550	36,7590	685	37,2954	820	37,2997	955	37,2562
555	36,7587	690	37,2762	825	37,2967	960	37,2566
560	36,7592	695	37,2683	830	37,2943	965	37,2557
565	36,7590	700	37,2569	835	37,2936	970	37,2519
570	36,7610	705	37,2482	840	37,2922	975	37,2497
575	36,7630	710	37,2411	845	37,2907	980	37,2495
580	36,7666	715	37,2345	850	37,2870	985	37,2510
585	36,7695	720	37,2263	855	37,2849	990	37,2484
590	36,7732	725	37,2194	860	37,2802	995	37,2488
595	36,7738	730	37,2158	865	37,2789	1000	37,2482
600	36,7752	735	37,2131	870	37,2768	1005	37,2470
605	36,7776	740	37,3531	875	37,2755	1010	37,2456
610	36,7780	745	37,3470	880	37,2743	1015	37,2455
615	36,7804	750	37,3406	885	37,2733	1020	37,2441
620	36,7824	755	37,3363	890	37,2719	1025	37,2438
625	36,7849	760	37,3313	895	37,2706	1030	37,2421
630	36,7831	765	37,3277	900	37,2694	1035	37,2433
635	36,7871	770	37,3275	905	37,2670	1040	37,2392
640	36,7901	775	37,3218	910	37,2670	1045	37,2409
645	36,8098	780	37,3202	915	37,2676	1050	37,2384
650	37,0369	785	37,3154	920	37,2656	1055	37,2387
655	37,7547	790	37,3124	925	37,2643	1060	37,2363
660	37,6367	795	37,3124	930	37,2641	1065	37,2369
665	37,4880	800	37,3093	935	37,2609	1070	37,2837
670	37,4158	805	37,3060	940	37,2616	1075	37,2697
675	37,3667	810	37,3054	945	37,2606	1080	37,2669



**Tabel D.3 (lanjutan)**

Waktu (sekon)	Resistansi (Ohm)	Waktu (sekon)	Resistansi (Ohm)	Waktu (sekon)	Resistansi (Ohm)	Waktu (sekon)	Resistansi (Ohm)
1085	37,2648	1220	37,2304	1355	37,1928	1490	37,2941
1090	37,2645	1225	37,2289	1360	37,1893	1495	37,2947
1095	37,2613	1230	37,2286	1365	37,1902	1500	37,2934
1100	37,2602	1235	37,2291	1370	37,1973	1505	37,2925
1105	37,2584	1240	37,2272	1375	37,1953	1510	37,2918
1110	37,2575	1245	37,2286	1380	37,1779	1515	37,2912
1115	37,2574	1250	37,2277	1385	37,1735	1520	37,2896
1120	37,2588	1255	37,2245	1390	37,1722	1525	37,2901
1125	37,2562	1260	37,2244	1395	37,1752	1530	37,2898
1130	37,2532	1265	37,2240	1400	37,1972	1535	37,2888
1135	37,2524	1270	37,2232	1405	37,1971	1540	37,2879
1140	37,2522	1275	37,2222	1410	37,1967	1545	37,2876
1145	37,2496	1280	37,2220	1415	37,1954	1550	37,2877
1150	37,2460	1285	37,2225	1420	37,1938	1555	37,2872
1155	37,2424	1290	37,2212	1425	37,1942	1560	37,2876
1160	37,2408	1295	37,2213	1430	37,1961	1565	37,2886
1165	37,2377	1300	37,2225	1435	37,1966	1570	37,2868
1170	37,2380	1305	37,2193	1440	37,1945	1575	37,2858
1175	37,2381	1310	37,2199	1445	37,1939	1580	37,2844
1180	37,2371	1315	37,2204	1450	37,2978	1585	37,2841
1185	37,2386	1320	37,2201	1455	37,2979	1590	37,2726
1190	37,2350	1325	37,2194	1460	37,2970	1595	37,2705
1195	37,2344	1330	37,2198	1465	37,2973	1600	37,2690
1200	37,2336	1335	37,2171	1470	37,2946	1605	37,2690
1205	37,2328	1340	37,2160	1475	37,2957	1610	37,2675
1210	37,2305	1345	37,2105	1480	37,2922	1615	37,2661
1215	37,2311	1350	37,2036	1485	37,2934	1620	37,2614



**Tabel D.3 (lanjutan)**

Waktu (sekon)	Resistansi (Ohm)	Waktu (sekon)	Resistansi (Ohm)	Waktu (sekon)	Resistansi (Ohm)	Waktu (sekon)	Resistansi (Ohm)
1625	37,2615	1760	37,2557	1895	37,2521	2030	37,2843
1630	37,2619	1765	37,2546	1900	37,2529	2035	37,2842
1635	37,2595	1770	37,2551	1905	37,2532	2040	37,2836
1640	37,2636	1775	37,2544	1910	37,2528	2045	37,2827
1645	37,2636	1780	37,2564	1915	37,2531	2050	37,2837
1650	37,2636	1785	37,2543	1920	37,2899	2055	37,2831
1655	37,2626	1790	37,2561	1925	37,2878	2060	37,2838
1660	37,2637	1795	37,2555	1930	37,2891	2065	37,2824
1665	37,2630	1800	37,2537	1935	37,2880	2070	37,2828
1670	37,2630	1805	37,2550	1940	37,2888	2075	37,2818
1675	37,2632	1810	37,2559	1945	37,2887	2080	37,2822
1680	37,2621	1815	37,2549	1950	37,2893	2085	37,2836
1685	37,2616	1820	37,2553	1955	37,2894	2090	37,2810
1690	37,2611	1825	37,2567	1960	37,2889	2095	37,2797
1695	37,2596	1830	37,2541	1965	37,2887	2100	37,2803
1700	37,2598	1835	37,2548	1970	37,2875	2105	37,2785
1705	37,2584	1840	37,2543	1975	37,2866	2110	37,2793
1710	37,2585	1845	37,2548	1980	37,2864	2115	37,2805
1715	37,2582	1850	37,2540	1985	37,2872	2120	37,2801
1720	37,2588	1855	37,2539	1990	37,2869	2125	37,2805
1725	37,2588	1860	37,2550	1995	37,2875	2130	37,2799
1730	37,2571	1865	37,2554	2000	37,2856	2135	37,2790
1735	37,2562	1870	37,2557	2005	37,2866	2140	37,2806
1740	37,2575	1875	37,2551	2010	37,2851	2145	37,2782
1745	37,2565	1880	37,2556	2015	37,2856	2150	37,2792
1750	37,2559	1885	37,2546	2020	37,2861	2155	37,2776
1755	37,2572	1890	37,2537	2025	37,2850	2160	37,2775



**Tabel D.3 (lanjutan)**

Waktu (sekon)	Resistansi (Ohm)	Waktu (sekon)	Resistansi (Ohm)	Waktu (sekon)	Resistansi (Ohm)	Waktu (sekon)	Resistansi (Ohm)
2165	37,2720	2300	37,2853	2435	37,2844	2570	37,2772
2170	37,2836	2305	37,2836	2440	37,2816	2575	37,2768
2175	37,2844	2310	37,2848	2445	37,2810	2580	37,2769
2180	37,2837	2315	37,2846	2450	37,2815	2585	37,2782
2185	37,2840	2320	37,2858	2455	37,2828	2590	37,2773
2190	37,2827	2325	37,2846	2460	37,2823	2595	37,2782
2195	37,2826	2330	37,2844	2465	37,2806	2600	37,2772
2200	37,2827	2335	37,2853	2470	37,2814	2605	37,2762
2205	37,2807	2340	37,2836	2475	37,2804	2610	37,2764
2210	37,2863	2345	37,2841	2480	37,2796	2615	37,2755
2215	37,2845	2350	37,2852	2485	37,2799	2620	37,2764
2220	37,2847	2355	37,2839	2490	37,2795	2625	37,2750
2225	37,2842	2360	37,2836	2495	37,2799	2630	37,2751
2230	37,2849	2365	37,2837	2500	37,2798	2635	37,2736
2235	37,2852	2370	37,2836	2505	37,2799	2640	37,2758
2240	37,2855	2375	37,2833	2510	37,2788	2645	37,2751
2245	37,2848	2380	37,2820	2515	37,2779	2650	37,2756
2250	37,2845	2385	37,2826	2520	37,2785	2655	37,2762
2255	37,2840	2390	37,2820	2525	37,2775	2660	37,2763
2260	37,2837	2395	37,2820	2530	37,2801	2665	37,2760
2265	37,2857	2400	37,2819	2535	37,2779	2670	37,2766
2270	37,2845	2405	37,2812	2540	37,2773	2675	37,2769
2275	37,2845	2410	37,2811	2545	37,2776	2680	37,2773
2280	37,2855	2415	37,2821	2550	37,2771	2685	37,2759
2285	37,2848	2420	37,2813	2555	37,2764	2690	37,2743
2290	37,2849	2425	37,2812	2560	37,2766	2695	37,2737
2295	37,2835	2430	37,2822	2565	37,2763	2700	37,2733





**Tabel D.3 (lanjutan)**

Waktu (sekon)	Resistansi (Ohm)	Waktu (sekon)	Resistansi (Ohm)	Waktu (sekon)	Resistansi (Ohm)	Waktu (sekon)	Resistansi (Ohm)
2705	37,2727	2840	37,2787	2975	37,2751	3110	37,2897
2710	37,2726	2845	37,2783	2980	37,2731	3115	37,2893
2715	37,2718	2850	37,2782	2985	37,2747	3120	37,2883
2720	37,2723	2855	37,2782	2990	37,2747	3125	37,2882
2725	37,2728	2860	37,2790	2995	37,2749	3130	37,2878
2730	37,2713	2865	37,2768	3000	37,2675	3135	37,0203
2735	37,2722	2870	37,2777	3005	37,2649	3140	37,0205
2740	37,2724	2875	37,2777	3010	37,2665	3145	37,0223
2745	37,2718	2880	37,2773	3015	37,2943	3150	37,0243
2750	37,2707	2885	37,2761	3020	37,2931	3155	37,0255
2755	37,2714	2890	37,2758	3025	37,2945	3160	37,0264
2760	37,2703	2895	37,2758	3030	37,2942	3165	37,0270
2765	37,2693	2900	37,2754	3035	37,2922	3170	37,0264
2770	37,2692	2905	37,2762	3040	37,2922	3175	37,0301
2775	37,2694	2910	37,2768	3045	37,2925	3180	37,0289
2780	37,2728	2915	37,2761	3050	37,2927	3185	37,0271
2785	37,2706	2920	37,2750	3055	37,2901	3190	37,0270
2790	37,2732	2925	37,2744	3060	37,2925	3195	37,0259
2795	37,2744	2930	37,2751	3065	37,2905	3200	37,0237
2800	37,2770	2935	37,2732	3070	37,2925	3205	37,0231
2805	37,2764	2940	37,2731	3075	37,2920	3210	37,0224
2810	37,2768	2945	37,2736	3080	37,2902	3215	37,0199
2815	37,2766	2950	37,2730	3085	37,2902	3220	37,0208
2820	37,2770	2955	37,2745	3090	37,2893	3225	37,0205
2825	37,2793	2960	37,2743	3095	37,2900	3230	37,0199
2830	37,2788	2965	37,2745	3100	37,2901	3235	37,0213
2835	37,2798	2970	37,2749	3105	37,2889	3240	37,0198



**Tabel D.3 (lanjutan)**

Waktu (sekon)	Resistansi (Ohm)	Waktu (sekon)	Resistansi (Ohm)	Waktu (sekon)	Resistansi (Ohm)	Waktu (sekon)	Resistansi (Ohm)
3245	37,0215	3385	37,0254	3525	37,0264	3665	36,9949
3250	37,0218	3390	37,0248	3530	37,0257	3670	36,9952
3255	37,0207	3395	37,0253	3535	37,0246	3675	36,9945
3260	37,0214	3400	37,0255	3540	37,0258	3680	36,9939
3265	37,0223	3405	37,0241	3545	37,0264	3685	36,9957
3270	37,0214	3410	37,0249	3550	37,0267	3690	36,9955
3275	37,0233	3415	37,0240	3555	37,0255	3695	36,9952
3280	37,0246	3420	37,0251	3560	37,0267	3700	36,9956
3285	37,0238	3425	37,0243	3565	37,0255	3705	36,9956
3290	37,0251	3430	37,0273	3570	37,0261	3710	36,9945
3295	37,0231	3435	37,0280	3575	37,0175	3715	36,9950
3300	37,0236	3440	37,0268	3580	37,0138	3720	36,9948
3305	37,0224	3445	37,0265	3585	37,0083	3725	36,9938
3310	37,0236	3450	37,0270	3590	37,0064	3730	36,9947
3315	37,0223	3455	37,0261	3595	37,0053	3735	36,9951
3320	37,0220	3460	37,0254	3600	37,0045	3740	36,9956
3325	37,0224	3465	37,0253	3605	37,0035	3745	36,9942
3330	37,0215	3470	37,0267	3610	37,0027	3750	36,9952
3335	37,0227	3475	37,0259	3615	37,0027	3755	36,9963
3340	37,0209	3480	37,0251	3620	37,0028	3760	36,9937
3345	37,0227	3485	37,0261	3625	37,0021	3765	36,9938
3350	37,0225	3490	37,0242	3630	37,0009	3770	36,9946
3355	37,0247	3495	37,0257	3635	37,0004	3775	36,9972
3360	37,0245	3500	37,0256	3640	36,9995	3780	37,1233
3365	37,0258	3505	37,0258	3645	36,9998	3785	37,0956
3370	37,0233	3510	37,0256	3650	36,9980	3790	37,0850
3375	37,0257	3515	37,0262	3655	36,9978	3795	37,0775
3380	37,0249	3520	37,0251	3660	36,9970	3800	37,0694



**Tabel D.3 (lanjutan)**

Waktu (sekon)	Resistansi (Ohm)	Waktu (sekon)	Resistansi (Ohm)	Waktu (sekon)	Resistansi (Ohm)	Waktu (sekon)	Resistansi (Ohm)
3805	37,0696	3940	37,0338	4075	37,0246	4210	37,0153
3810	37,0660	3945	37,0342	4080	37,0240	4215	37,0144
3815	37,0673	3950	37,0326	4085	37,0228	4220	37,0116
3820	37,0697	3955	37,0328	4090	37,0222	4225	37,0075
3825	37,0714	3960	37,0320	4095	37,0209	4230	37,0049
3830	37,0731	3965	37,0324	4100	37,0216	4235	37,0025
3835	37,0736	3970	37,0304	4105	37,0208	4240	37,0012
3840	37,0742	3975	37,0304	4110	37,0195		
3845	37,0657	3980	37,0306	4115	37,0194		
3850	37,0620	3985	37,0294	4120	37,0197		
3855	37,0605	3990	37,0307	4125	37,0187		
3860	37,0520	3995	37,0273	4130	37,0178		
3865	37,0501	4000	37,0277	4135	37,0171		
3870	37,0516	4005	37,0266	4140	37,0176		
3875	37,0504	4010	37,0249	4145	37,0170		
3880	37,0490	4015	37,0243	4150	37,0165		
3885	37,0469	4020	37,0226	4155	37,0148		
3890	37,0464	4025	37,0218	4160	37,0176		
3895	37,0466	4030	37,0221	4165	37,0154		
3900	37,0444	4035	37,0185	4170	37,0161		
3905	37,0419	4040	37,0165	4175	37,0157		
3910	37,0414	4045	37,0172	4180	37,0145		
3915	37,0394	4050	37,0160	4185	37,0161		
3920	37,0386	4055	37,0137	4190	37,0155		
3925	37,0363	4060	37,0299	4195	37,0150		
3930	37,0374	4065	37,0296	4200	37,0161		
3935	37,0361	4070	37,0269	4205	37,0136		

**Tabel D.4 pH 9,5 Suhu 100°C**

Waktu (sekon)	Resistansi (Ohm)	Waktu (sekon)	Resistansi (Ohm)	Waktu (sekon)	Resistansi (Ohm)	Waktu (sekon)	Resistansi (Ohm)
5	32,9905	140	32,9497	275	33,0688	410	33,2593
10	32,9883	145	32,9474	280	33,0767	415	33,2372
15	32,9868	150	32,9344	285	32,9384	420	33,2442
20	32,9895	155	32,9351	290	32,8715	425	33,2272
25	32,9842	160	32,9291	295	32,8543	430	33,2237
30	32,9797	165	32,8910	300	32,8401	435	33,1986
35	32,9824	170	32,8990	305	32,8164	440	33,2090
40	32,9775	175	32,8042	310	32,8092	445	33,2243
45	32,9890	180	32,7105	315	32,8037	450	33,2311
50	32,9966	185	32,8065	320	32,8046	455	33,2295
55	33,0246	190	32,7350	325	32,7948	460	33,2243
60	33,0254	195	32,7490	330	33,0245	465	33,2344
65	33,0382	200	32,7604	335	32,8698	470	33,2297
70	33,0499	205	32,7754	340	32,8552	475	33,2296
75	33,0128	210	32,8181	345	32,8471	480	33,2288
80	33,0121	215	32,8570	350	32,8826	485	33,2303
85	33,0056	220	32,8468	355	32,9672	490	33,2315
90	33,0067	225	32,8657	360	32,9533	495	33,2317
95	32,9882	230	32,8781	365	32,9482	500	33,2219
100	32,9653	235	32,8741	370	32,9297	505	33,2233
105	32,9644	240	32,8797	375	32,9222	510	33,2306
110	32,9577	245	32,8777	380	32,9164	515	33,2261
115	32,9293	250	32,8771	385	32,9219	520	33,2247
120	32,9379	255	32,8676	390	32,9302	525	33,2285
125	32,9348	260	32,8590	395	32,9549	530	33,2294
130	32,9374	265	32,8497	400	32,9425	535	33,2286
135	32,9498	270	32,8257	405	33,0834	540	33,2247

**Tabel D.4 (lanjutan)**

Waktu (sekon)	Resistansi (Ohm)	Waktu (sekon)	Resistansi (Ohm)	Waktu (sekon)	Resistansi (Ohm)	Waktu (sekon)	Resistansi (Ohm)
545	33,2296	680	33,1241	815	33,2246	950	33,1067
550	33,2239	685	33,1378	820	33,2144	955	33,1029
555	33,2285	690	33,1183	825	33,1935	960	33,0984
560	33,2215	695	33,1606	830	33,1865	965	33,0941
565	33,2251	700	33,1443	835	33,1863	970	33,0868
570	33,2147	705	33,1459	840	33,1690	975	33,1004
575	33,2239	710	33,1423	845	33,1642	980	33,0958
580	33,2386	715	33,1469	850	33,1656	985	33,0962
585	33,2326	720	33,1459	855	33,1535	990	33,0976
590	33,2353	725	33,1483	860	33,1458	995	33,1016
595	33,2385	730	33,1560	865	33,1371	1000	33,0907
600	33,2369	735	33,1628	870	33,1294	1005	33,0918
605	33,2312	740	33,1773	875	33,1290	1010	33,0876
610	33,2267	745	33,1693	880	33,1251	1015	33,0909
615	33,2308	750	33,1737	885	33,1268	1020	33,0938
620	33,2278	755	33,1819	890	33,1165	1025	33,0826
625	33,2212	760	33,1782	895	33,1323	1030	33,0906
630	33,2228	765	33,1866	900	33,1360	1035	33,0841
635	33,2157	770	33,1803	905	33,1114	1040	33,0830
640	33,1908	775	33,1865	910	33,1125	1045	33,0747
645	33,1905	780	44,9793	915	33,1210	1050	33,0735
650	33,2039	785	32,8712	920	33,1265	1055	33,0788
655	33,2131	790	32,8290	925	33,1168	1060	33,0724
660	33,1893	795	33,1972	930	33,1222	1065	33,0842
665	33,1773	800	33,2745	935	33,1056	1070	33,0807
670	33,1725	805	33,2543	940	33,1081	1075	33,0752
675	33,1461	810	33,2317	945	33,1100	1080	33,0742





**Tabel D.4 (lanjutan)**

Waktu (sekon)	Resistansi (Ohm)	Waktu (sekon)	Resistansi (Ohm)	Waktu (sekon)	Resistansi (Ohm)	Waktu (sekon)	Resistansi (Ohm)
1085	33,0653	1220	33,0252	1355	33,0085	1490	33,0024
1090	33,0609	1225	33,0287	1360	33,0164	1495	33,0154
1095	33,0618	1230	33,0352	1365	33,0165	1500	33,0075
1100	33,0610	1235	33,0333	1370	33,0238	1505	32,9932
1105	33,0598	1240	33,0302	1375	33,0239	1510	33,0072
1110	33,0520	1245	33,0315	1380	33,0357	1515	33,0013
1115	33,0600	1250	33,0354	1385	33,0166	1520	33,0058
1120	33,0631	1255	33,0340	1390	33,0176	1525	33,0085
1125	33,0572	1260	33,0299	1395	33,0205	1530	32,9987
1130	33,0628	1265	33,0372	1400	33,0188	1535	32,9924
1135	33,0551	1270	33,0327	1405	32,9998	1540	32,9896
1140	33,0561	1275	33,0242	1410	33,0058	1545	32,9710
1145	33,0545	1280	33,0259	1415	33,0047	1550	32,9595
1150	33,0495	1285	33,0226	1420	33,0170	1555	32,9495
1155	33,0533	1290	33,0133	1425	33,0204	1560	32,9573
1160	33,0503	1295	33,0100	1430	33,0193	1565	32,9551
1165	33,0539	1300	33,0153	1435	33,0142	1570	32,9487
1170	33,0529	1305	33,0177	1440	33,0166	1575	32,9457
1175	33,0466	1310	33,0195	1445	33,0205	1580	32,9440
1180	33,0473	1315	33,0201	1450	33,0055	1585	32,9408
1185	33,0413	1320	33,0161	1455	33,0142	1590	32,9464
1190	33,0381	1325	33,0206	1460	33,0051	1595	32,9456
1195	33,0391	1330	33,0132	1465	33,0098	1600	32,9395
1200	33,0303	1335	33,0173	1470	33,0061	1605	32,9415
1205	33,0316	1340	33,0189	1475	33,0062	1610	32,9368
1210	33,0331	1345	33,0121	1480	33,0079	1615	32,9410
1215	33,0359	1350	33,0122	1485	33,0129	1620	32,9357



**Tabel D.4** (lanjutan)

Waktu (sekon)	Resistansi (Ohm)	Waktu (sekon)	Resistansi (Ohm)
1625	32,9418	1760	32,9555
1630	32,9319	1765	32,9641
1635	32,9359	1770	32,9624
1640	32,9376	1775	32,9684
1645	32,9283	1780	32,9546
1650	32,9379	1785	32,9522
1655	32,9420	1790	32,9546
1660	32,9276	1795	32,9599
1665	32,9364	1800	32,9527
1670	32,9305		
1675	32,9301		
1680	32,9320		
1685	32,9299		
1690	32,9314		
1695	32,9283		
1700	32,9296		
1705	32,9292		
1710	32,9301		
1715	32,9305		
1720	32,9364		
1725	32,9419		
1730	32,9454		
1735	32,9499		
1740	32,9466		
1745	32,9504		
1750	32,9556		
1755	32,9448		



## LAMPIRAN E

### HASIL UJI SENSOR GAS SUBSTRAT ALUMINA

**Tabel E.1 pH 3,5**

Waktu (sekon)	Resistansi		
	suhu ruang	100°C	200°C
5	OVLD	OVLD	OVLD
10	OVLD	OVLD	OVLD
15	OVLD	OVLD	OVLD
20	OVLD	OVLD	OVLD
25	OVLD	OVLD	OVLD
30	OVLD	OVLD	OVLD
35	OVLD	OVLD	OVLD
40	OVLD	OVLD	OVLD
45	OVLD	OVLD	OVLD
50	OVLD	OVLD	OVLD
55	OVLD	OVLD	OVLD
60	OVLD	OVLD	OVLD
65	OVLD	OVLD	OVLD
70	OVLD	OVLD	OVLD
75	OVLD	OVLD	OVLD
80	OVLD	OVLD	OVLD
85	OVLD	OVLD	OVLD
90	OVLD	OVLD	OVLD
95	OVLD	OVLD	OVLD
100	OVLD	OVLD	OVLD
105	OVLD	OVLD	OVLD
110	OVLD	OVLD	OVLD
115	OVLD	OVLD	OVLD
120	OVLD	OVLD	OVLD

Waktu (sekon)	Resistansi		
	suhu ruang	100°C	200°C
125	OVLD	OVLD	OVLD
130	OVLD	OVLD	OVLD
135	OVLD	OVLD	OVLD
140	OVLD	OVLD	OVLD
145	OVLD	OVLD	OVLD
150	OVLD	OVLD	OVLD
155	OVLD	OVLD	OVLD
160	OVLD	OVLD	OVLD
165	OVLD	OVLD	OVLD
170	OVLD	OVLD	OVLD
175	OVLD	OVLD	OVLD
180	OVLD	OVLD	OVLD
185	OVLD	OVLD	OVLD
190	OVLD	OVLD	OVLD
195	OVLD	OVLD	OVLD
200	OVLD	OVLD	OVLD
205	OVLD	OVLD	OVLD
210	OVLD	OVLD	OVLD
215	OVLD	OVLD	OVLD
220	OVLD	OVLD	OVLD
225	OVLD	OVLD	OVLD
230	OVLD	OVLD	OVLD
235	OVLD	OVLD	OVLD
240	OVLD	OVLD	OVLD



**Tabel E.1 (lanjutan)**

Waktu (sekon)	Resistansi		
	suhu ruang	100°C	200°C
245	OVLD	OVLD	OVLD
250	OVLD	OVLD	OVLD
255	OVLD	OVLD	OVLD
260	OVLD	OVLD	OVLD
265	OVLD	OVLD	OVLD
270	OVLD	OVLD	OVLD

Waktu (sekon)	Resistansi		
	suhu ruang	100°C	200°C
275	OVLD	OVLD	OVLD
280	OVLD	OVLD	OVLD
285	OVLD	OVLD	OVLD
290	OVLD	OVLD	OVLD
295	OVLD	OVLD	OVLD
300	OVLD	OVLD	OVLD

**Tabel E.2 pH 5,5**

Waktu (sekon)	Resistansi		
	suhu ruang	100°C	200°C
5	OVLD	OVLD	OVLD
10	OVLD	OVLD	OVLD
15	OVLD	OVLD	OVLD
20	OVLD	OVLD	OVLD
25	OVLD	OVLD	OVLD
30	OVLD	OVLD	OVLD
35	OVLD	OVLD	OVLD
40	OVLD	OVLD	OVLD
45	OVLD	OVLD	OVLD
50	OVLD	OVLD	OVLD
55	OVLD	OVLD	OVLD
60	OVLD	OVLD	OVLD
65	OVLD	OVLD	OVLD
70	OVLD	OVLD	OVLD
75	OVLD	OVLD	OVLD
80	OVLD	OVLD	OVLD
85	OVLD	OVLD	OVLD

Waktu (sekon)	Resistansi		
	suhu ruang	100°C	200°C
90	OVLD	OVLD	OVLD
95	OVLD	OVLD	OVLD
100	OVLD	OVLD	OVLD
105	OVLD	OVLD	OVLD
110	OVLD	OVLD	OVLD
115	OVLD	OVLD	OVLD
120	OVLD	OVLD	OVLD
125	OVLD	OVLD	OVLD
130	OVLD	OVLD	OVLD
135	OVLD	OVLD	OVLD
140	OVLD	OVLD	OVLD
145	OVLD	OVLD	OVLD
150	OVLD	OVLD	OVLD
155	OVLD	OVLD	OVLD
160	OVLD	OVLD	OVLD
165	OVLD	OVLD	OVLD
170	OVLD	OVLD	OVLD





**Tabel E.2 (lanjutan)**

Waktu (sekon)	Resistansi		
	suhu ruang	100°C	200°C
175	OVLD	OVLD	OVLD
180	OVLD	OVLD	OVLD
185	OVLD	OVLD	OVLD
190	OVLD	OVLD	OVLD
195	OVLD	OVLD	OVLD
200	OVLD	OVLD	OVLD
205	OVLD	OVLD	OVLD
210	OVLD	OVLD	OVLD
215	OVLD	OVLD	OVLD
220	OVLD	OVLD	OVLD
225	OVLD	OVLD	OVLD
230	OVLD	OVLD	OVLD
235	OVLD	OVLD	OVLD
235	OVLD	OVLD	OVLD

Waktu (sekon)	Resistansi		
	suhu ruang	100°C	200°C
240	OVLD	OVLD	OVLD
245	OVLD	OVLD	OVLD
250	OVLD	OVLD	OVLD
255	OVLD	OVLD	OVLD
260	OVLD	OVLD	OVLD
265	OVLD	OVLD	OVLD
270	OVLD	OVLD	OVLD
275	OVLD	OVLD	OVLD
280	OVLD	OVLD	OVLD
285	OVLD	OVLD	OVLD
290	OVLD	OVLD	OVLD
295	OVLD	OVLD	OVLD
300	OVLD	OVLD	OVLD

**Tabel E.3 pH 9,5**

Waktu (sekon)	Resistansi		
	suhu ruang	100°C	200°C
5	OVLD	OVLD	OVLD
10	OVLD	OVLD	OVLD
15	OVLD	OVLD	OVLD
20	OVLD	OVLD	OVLD
25	OVLD	OVLD	OVLD
30	OVLD	OVLD	OVLD
35	OVLD	OVLD	OVLD
40	OVLD	OVLD	OVLD

Waktu (sekon)	Resistansi		
	suhu ruang	100°C	200°C
45	OVLD	OVLD	OVLD
50	OVLD	OVLD	OVLD
55	OVLD	OVLD	OVLD
60	OVLD	OVLD	OVLD
65	OVLD	OVLD	OVLD
70	OVLD	OVLD	OVLD
75	OVLD	OVLD	OVLD
80	OVLD	OVLD	OVLD



**Tabel E.3 (lanjutan)**

Waktu (sekon)	Resistansi		
	suhu ruang	100°C	200°C
85	OVLD	OVLD	OVLD
90	OVLD	OVLD	OVLD
95	OVLD	OVLD	OVLD
100	OVLD	OVLD	OVLD
105	OVLD	OVLD	OVLD
110	OVLD	OVLD	OVLD
115	OVLD	OVLD	OVLD
120	OVLD	OVLD	OVLD
125	OVLD	OVLD	OVLD
130	OVLD	OVLD	OVLD
135	OVLD	OVLD	OVLD
140	OVLD	OVLD	OVLD
145	OVLD	OVLD	OVLD
150	OVLD	OVLD	OVLD
155	OVLD	OVLD	OVLD
160	OVLD	OVLD	OVLD
165	OVLD	OVLD	OVLD
170	OVLD	OVLD	OVLD
175	OVLD	OVLD	OVLD
180	OVLD	OVLD	OVLD
185	OVLD	OVLD	OVLD
190	OVLD	OVLD	OVLD
195	OVLD	OVLD	OVLD
200	OVLD	OVLD	OVLD
205	OVLD	OVLD	OVLD
210	OVLD	OVLD	OVLD

Waktu (sekon)	Resistansi		
	suhu ruang	100°C	200°C
215	OVLD	OVLD	OVLD
220	OVLD	OVLD	OVLD
225	OVLD	OVLD	OVLD
230	OVLD	OVLD	OVLD
235	OVLD	OVLD	OVLD
240	OVLD	OVLD	OVLD
245	OVLD	OVLD	OVLD
250	OVLD	OVLD	OVLD
255	OVLD	OVLD	OVLD
260	OVLD	OVLD	OVLD
265	OVLD	OVLD	OVLD
270	OVLD	OVLD	OVLD
275	OVLD	OVLD	OVLD
280	OVLD	OVLD	OVLD
285	OVLD	OVLD	OVLD
290	OVLD	OVLD	OVLD
295	OVLD	OVLD	OVLD
300	OVLD	OVLD	OVLD

## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan hasil pengujian, analisa, dan pembahasan yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa:

- Variasi pH mempengaruhi fase  $\text{TiO}_2$  dan ukuran kristal yang terbentuk. Semakin tinggi pH, maka  $\text{TiO}_2$  yang terbentuk akan cenderung ke dalam fasa anatase. Penambahan pH juga mempengaruhi kontur dari  $\text{TiO}_2$ .
- Penggunaan substrat FTO berpengaruh terhadap fase dan ukuran kristal  $\text{TiO}_2$ . pH 9,5 memiliki ukuran kristal 16,25 nm pada FTO dan 60,85 nm pada *powder*  $\text{TiO}_2$ .
- Hasil uji BET didapatkan luas permukaan paling besar pada pH 3,5 yaitu 88,8  $\text{m}^2/\text{g}$ .
- Telah berhasil ditumbuhkan  $\text{TiO}_2$  pada substrat FTO namun tidak cocok ketika diaplikasikan sebagai sensor gas. Sedangkan pada substrat alumina belum berhasil ditumbuhkan  $\text{TiO}_2$ .

#### **5.2 Saran**

Saran yang diberikan untuk penelitian selanjutnya:

- Substrat harus dipastikan dalam keadaan bersih sebelum dilakukan perendaman.
- Pelapisan perak pada substrat alumina sebaiknya dilakukan setelah proses perendaman.
- Sebaiknya dilakukan seeding terlebih dahulu terhadap substrat agast  $\text{TiO}_2$  mudah terbentuk menjadi lapisan tipis.

**“Halaman ini memang dikosongkan”**

## DAFTAR PUSTAKA

- Benkstein, K. D., Kopidakis, N., Van de Lagemaat, J., & Frank, A. J. 2003. Influence of the percolation network geometry on electron transport in dye-sensitized titanium dioxide solar cells. *The Journal of Physical Chemistry B*, 107(31), 7759-7767.
- Budiarti, Henry Ariesta. 2014. "Pengaruh Penambahan Garam (NaCl) pada Pertumbuhan Nanopartikel TiO<sub>2</sub> Rutile dari Prekursor TiCl<sub>3</sub>. Laporan Tugas akhir
- Chen, Jing-Yu, et al. "Chemical bath deposition of IrO<sub>2</sub> films on ITO substrate." 2014. *Ceramics International* 40.9: 14983-14990.
- Elfanaoui, A., et.al. 2012. The synthesis of TiO<sub>2</sub> thin film by Chemical Bath Deposition (CBD) method. *Moroccan Journal of Condensed Matter*, 13(3).
- Gazal, Y., et al. "Multi-structural TiO<sub>2</sub> film synthesized by an atmospheric pressure plasma enhanced chemical vapour deposition microwave torch." 2016. *Thin Solid Films*
- Hsiang, H. I., & Lin, S. C. 2008. Effects of aging on nanocrystalline anatase-to-rutile phase transformation kinetics. *Ceramics International*, 34(3), 557-561.
- Jaya Bharathi, J., and N. Pappayee. 2014. "Titanium dioxide (TiO<sub>2</sub>) thin film based gas sensors." *Journal of Chemical and Pharmaceutical Sciences* ISSN 974: 2115.
- Khataee, Alireza and G. Ali Mansoori. 2012. "Properties, Preparation and Applications." Singapore: Word scientific
- Kim, H., Hong, M. H., Jang, H. W., Yoon, S. J., & Park, H. H. 2013. CO gas sensing properties of direct-patternable TiO<sub>2</sub> thin films containing multi-wall carbon nanotubes. *Thin Solid Films*, 529, 89-93.

- Klüttgen, B. S., Gibson, N., Putaud, J. P., & Stamm, H. 2010. *Considerations on a definition of nanomaterial for regulatory purposes*. Publications Office.
- Korotcenkov, G. 2013. *Handbook of gas sensor materials* (pp. 49-116). Springer: New York, NY, USA.
- Lokhande, C. D., et al. "Room temperature chemical deposition of amorphous TiO<sub>2</sub> thin films from Ti (III) chloride solution". 2008. *Journal of materials science* 39.8 : 2915-2918.
- Lu, Zhongdan, et al. "Study of effect annealing temperature on the structure, morphology and photocatalytic activity of Si doped TiO<sub>2</sub> thin films deposited by electron beam evaporation." 2011. *Applied Surface Science* 257.24: 10715-10720.
- Luque, P. A., et al. "Influence of pH on properties of ZnS thin films deposited on SiO<sub>2</sub> substrate by chemical bath deposition." 2015. *Materials Letters* 140 : 148-150.
- Manurung, Posman, et al. "Synthesis and characterisation of chemical bath deposited TiO<sub>2</sub> thin-films." 2013. *Ceramics International* 39.1: 255-259.
- Mayabadi, A. H., et al. "Evolution of structural and optical properties of rutile TiO<sub>2</sub> thin films synthesized at room temperature by chemical bath deposition method." 2014. *Journal of Physics and Chemistry of Solids* 75.2: 182-187.
- Mohammed, M. M., Elkady, O. A., & Abdelhameed, A. W. 2013. Effect of Alumina Particles Addition on Physico-Mechanical Properties of AL-Matrix Composites. *Open Journal of Metal*, 2013.
- Molea, Andreia, et al. "Influence of pH on the formulation of TiO<sub>2</sub> nano-crystalline powders with high photocatalytic activity." 2014. *Powder Technology* 253: 22-28.
- More, A. M., Gujar, T. P., Gunjekar, J. L., Lokhande, C. D., & Joo, O. S. 2008. Growth of TiO<sub>2</sub> nanorods by chemical



- bath deposition method. *Applied surface science*, 255(5), 2682-2687.
- Mulyadi, Nugraha, Brian Yuliarto. 2013. Pembuatan Sensor Gas Volatile Organic Compound (VOC) berbasis Material Semikonduktor SnO<sub>2</sub> Berstruktur Nano menggunakan Metode Chemical Bath Deposition (CBD).
- Musembi, R., Aduda, B., Mwabora, J., Rusu, M., Fostiropoulos, K., & Lux-Steiner, M. 2013. Effect of Recombination on Series Resistance in eta Solar Cell Modified with In (OH) xSy Buffer Layer. *International Journal of Energy Engineering*, 3(3), 183-189.
- Patil, N., Jain, G. H., & Gaikwad, V. (2012, December). Synthesis, characterization and performance of pure and surface modified BaSnO<sub>3</sub> with TiO<sub>2</sub> thick film resistor as a gas sensor. In *Sensing Technology (ICST), 2012 Sixth International Conference on* (pp. 704-708). IEEE.
- Pérez-González, M., et al. "Optical, structural, and morphological properties of photocatalytic TiO<sub>2</sub>-ZnO thin films synthesized by the sol-gel process." *Thin Solid Films* 594 (2015): 304-309.
- Perillo, P. M., et al. "P2. 7.2 The CO gas sensing properties of TiO<sub>2</sub> nanotubes." *Proceedings IMCS 2012* (2012): 1609-1610.
- Putri, Irana Eka. 2014. "Studi Kinetika Pertumbuhan Nanopartikel TiO<sub>2</sub> Dan Transformasi Anatase-Rutile Dari Larutan TiCl<sub>3</sub> dengan menggunakan Metode Kopresipitasi". Laporan tugass akhir
- Radecka, M., et.al. 2010. TiO<sub>2</sub>-based nanopowders for gas sensor. *Materiały Ceramiczne*, 62(4), 545-549.
- Robin, Yoann, et al. "Annealing effect of CdS thin films deposited by chemical bath deposition on different substrates." *Photovoltaic Specialists Conference (PVSC), 2013 IEEE 39th*. IEEE, 2013.
- Scanlon, D. O., Dunnill, C. W., Buckeridge, J., Shevlin, S. A., Logsdail, A. J., Woodley, S. M., ... & Watson, G. W.

2013. Band alignment of rutile and anatase TiO<sub>2</sub>. *Nature materials*, 12(9), 798-801.
- Selman, Abbas M., Z. Hassan, and M. Husham. 2014. "Structural and photoluminescence studies of rutile TiO<sub>2</sub> nanorods prepared by chemical bath deposition method on Si substrates at different pH values." *Measurement* 56 : 155-162.
- Tiwary, Rohit, et al. "Characterization of TiO<sub>2</sub> Thin Film Deposited by RF Sputtering Method." *Devices, Circuits and Communications (ICDCCom)*, 2014 *International Conference on*. IEEE, 2014.
- Tohidi, Tavakkol, et al. "Comparative studies on the structural, morphological, optical, and electrical properties of nanocrystalline PbS thin films grown by chemical bath deposition using two different bath compositions." *Materials Science in Semiconductor Processing* 25 (2014): 197-206.
- Wang, Huihu, et al. "Microstructures and photocatalytic properties of porous ZnO films synthesized by chemical bath deposition method." 2012. *Applied Surface Science* 258.10: 4288-4293.
- Wang, M., Li, Q., Yu, H., Hur, S. H., & Kim, E. J. 2013. Phase-controlled preparation of TiO<sub>2</sub> films and micro (nano) spheres by low-temperature chemical bath deposition. *Journal of Alloys and Compounds*, 578, 419-424.
- Yuliarto, B., Nugraha, N., Epindonta, B., Aditia, R., & Iqbal, M. 2013. Synthesis of SnO<sub>2</sub> Nanostructure Thin Film and its Prospective as Gas Sensors. In *Advanced Materials Research* (Vol. 789, pp. 189-192). Trans Tech Publications.
- Yuliarto, B., Julia, S., Iqbal, M., Ramadhani, M. F., & Nugraha, N. 2015. The effect of tin addition to ZnO nanosheet thin films for ethanol and isopropyl alcohol sensor applications. *Journal of Engineering and Technological Sciences*, 47(1), 76-91.

- Zhou, Longjie, et al. "Chemical bath deposition of thin TiO<sub>2</sub>-anatase films for dielectric applications." 2008. *Thin Solid Films* 516.21: 7661-7666.
- Zhu, K. R., Zhang, M. S., Hong, J. M., & Yin, Z. 2005. Size effect on phase transition sequence of TiO<sub>2</sub> nanocrystal. *Materials Science and Engineering: A*, 403(1), 87-93.

**“Halaman ini memang dikosongkan”**

## **BIODATA PENULIS**



Shita Agustin Kusumaningtyas lahir di Tulungagung, 4 Agustus 1993. Penulis yang biasa dipanggil Shita menempuh pendidikan mulai dari SDN 1 Bulus, Tulungagung, kemudian melanjutkan pendidikan di SMPN 1 Bandung dan SMAN 1 Boyolangu, Tulungagung. Kemudian menempuh pendidikan diploma selama tiga tahun di D3 Metrologi dan Instrumentasi, FTI-ITS tahun 2011. Pada tahun 2014 - sekarang penulis menempuh Lintas Jalur di Teknik Fisika, FTI-ITS . Apabila ada pertanyaan, kritik dan saran tentang Tugas Akhir ini, penulis dapat dihubungi melalui email [shitaagustin@gmail.com](mailto:shitaagustin@gmail.com).